

Tommi Leppäniemi

**PUURANKARUNKOISEN RAKENTEEEN  
SISÄPUOLISEN LISÄERISTÄMISEN VAI-  
KUTUS YLÄPOHJALIITOKSEN KOS-  
TEUSTEKNISEEN TOIMINTAAN**

Rakennetun ympäristön tiedekunta  
Kandidaatintyö  
Helmikuu 2020

# TIIVISTELMÄ

Tommi Leppäniemi: Puurankarunkoisen rakenteen yläpohjaliitoksen sisäpuolisen lisälämmöneristämisen vaikutus liitoksen kosteustekniseen toimintaan, *The moisture behavior effect of increasing the inner thermal insulation of the roof joint in the wooden frame structure*

Kandidaatintyö

Tampereen yliopisto

Rakennustekniikan TkK-tutkinto-ohjelma

Helmikuu 2020

---

Rakennuskannan energiatehokkuutta parannettaessa on rakennusten lisälämmöneristäminen melko yleistä. Pientalotyömailla lisäeristäminen suoritetaan tyypillisesti materiaalivalmistajien ohjeita mukaillen. Ilman rakennusfysikaalista tarkastelua voi lisäeristäminen vaarantaa rakenteen kosteusteknisen toimivuuden.

Tässä työssä tutkittiin alkuperäisen ja sisäpuolelta lisäeristetyn puurankarunkoisen seinän yläpohjaliitoksen kosteusteknistä toimivuutta ja homehtumisriskiä. Työhön valittiin sekä höyrynsululla varustettu että ilman höyrynsulkua oleva seinä. Rakennusfysikaaliset laskennat suoritettiin WUFI 2d -ohjelmistolla ja homehtumisriskiä tarkasteltiin Suomalaisella homemallilla.

Laskennassa keskityttiin vain seinä rakenteiden toimivuuden arviointiin. Alkuperäinen seinärakenne todettiin toimivaksi ja siinä ei esiintynyt homekasvustoa. Lisäeristetyissä rakenteissa vanhat puurakenteet jäivät kylmempään ja kostempaan tilaan. Höyrynsululla varustettu rakenne todettiin homeettomaksi, mutta todellisuudessa rakenne voi olla riskialtis. Ilman höyrynsulkua lisäeristetty rakenne todettiin homehtuvan.

Avainsanat: ulkoseinä, lisälämmöneristäminen, WUFI, Suomalainen homemalli, rakennusfysikaalinen mallintaminen

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
1.1 Tutkimuksen tausta .....	1
1.2 Tutkimuksen esittely .....	2
2. TEORIA .....	3
2.1 Lämpö .....	3
2.1.1 Lämmön johtuminen .....	3
2.1.2 Lämmön konvektio .....	4
2.1.3 Lämpösäteily .....	4
2.2 Kosteus .....	5
2.2.1 Vesihöyryn konvektio .....	5
2.2.2 Vesihöyryn diffuusio .....	6
2.2.3 Veden kapillaarinen liike .....	6
2.2.4 Veden liike ulkoisen paineen vaikutuksesta .....	7
2.2.5 Kosteuslähteitä ja -rasituksia .....	7
2.3 Laskenta .....	8
2.3.1 Wufi 2D .....	8
2.3.2 Homemalli ja homeindeksi .....	9
3. TUTKITTAVA RAKENNE .....	10
3.1 Ulkoseinärakenne .....	10
3.2 Alkuperäinen rakenne .....	10
3.3 Lisäeristysratkaisut .....	12
4. LASKENNAN TULOKSET .....	14
4.1 Alkuperäinen rakenne .....	14
4.2 Lisäeristetty rakenne höyrynsululla .....	15
4.3 Lisäeristetty rakenne ilman höyrynsulkua .....	16
4.4 Laskennan virhearvio .....	16
5. JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO .....	18
5.1 Rakennusfysikaalisten olojen muutos .....	18
5.2 Lisäeristämisen toimivuuden arviointi .....	18
5.3 Jatkotutkimuksia .....	18
LÄHTEET .....	19
LIITTEET .....	20

# 1. JOHDANTO

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Rakennusten energiatehokkuutta säätelevien määräysten koskiessa myös korjausrakentamista, on lisälämmöneristäminen usein tarpeellista. Lisäeristämällä voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä lämmitysenergian kulutuksessa. Lisäeristämällä rakennetta sen lämmönläpäisykerroin eli U-arvo laskee, jonka ansiosta lämpöhäviö rakenteen läpi pienenee.

Luvanvaraisissa korjaustoimenpiteissä on rakenteen energiatehokkuutta parannettava, jos se on teknisesti ja taloudellisesti järkevää. Energiatehokkuutta tulisi parantaa rakenteen U-arvoa pienentämällä puoleen alkuperäisestä tai kunnes saavutetaan uudisrakennuksen määräystenmukainen U-arvo. Energiatehokkuutta voidaan parantaa myös rakennustyyppille määritetylle standarditasolle tai pienentämällä E-lukua. (RIL-249 2015, s. 26 - 27)

Lisäeristämisen aiheuttama U-arvon lasku muuttaa rakenteen sisäisiä lämpötilaeroja ja uusilla rakennekerroksilla on vaikutusta kosteuden siirtymiseen. Tämän takia on tärkeää varmistaa erityisesti rakenteen kosteustekninen toimivuus. Rakenteen toimivuus ja säilyvyys riippuu pääosin kosteudenhallinnasta ja rakenteen kuivumiskyvystä. (RIL-249 2015, s. 205)

Jos rakenteen kosteusteknisen toiminnan suunnitteluun ei kiinnitetä huomiota voi rakenteen kestävyys ja sisäilman laatu olla uhattuna (RIL-249 2015, s. 158). Rakenteiden yhtenä yleisenä kosteusteknisenä vaatimuksena voidaan pitää, että rakenteeseen tunkeutunut kosteus ei ylitä määrää, joka oleellisesti haittaisi rakenteen toimintaa. Mikäli rakenteeseen joutuu ylimääräistä kosteutta, on kosteuden voitava poistua vaurioita aiheuttamatta. (RIL-107 2000, s. 32)

Ilmaston on ennustettu muuttuvan lämpimämmäksi ja ilmankosteuden lisääntyvän. Ilmankosteuden lisääntyessä rakennuksiin kohdistuu suurempia kosteusrasituksia ja homehtumisriski on korkeampi kuin ennen. Osana ilmastomuutoksen hillintää on rakennusten energiatehokkuuden parantaminen. On myös tärkeää sopeuttaa nykyistä rakennuskantaa kestävämmän muuttuvan ilmaston suurempia rasituksia paremmin. (RIL-249 2015, s. 213)

## 1.2 Tutkimuksen esittely

Tässä työssä tutkitaan tietokoneavusteista mallinnusta käyttäen tietyn tyyppirakenteen rakennusfysikaalista käyttäytymistä alkuperäisessä tilassaan ja verrataan sitä sisäpuolelta lisäeristettyyn rakenteeseen. Lämpö- ja kosteustekniset laskennat suoritetaan vain nykypäivää vastaavissa ilmasto-olosuhteissa.

Tutkimukseen valittu rakenne on esitetty RT 822.317 -kortissa. Seinärakenteena on puurankarunko ja eristeenä sekä seinässä että yläpohjassa on mineraalivilla. Tutkimus keskittyy seinän ja yläpohjan liitosalueelle. Tutkimuksessa oletetaan huomattavan, että sisäpuolelta lisäeristettäessä seinän alkuperäiset puuosat jäävät kylmempään ilmaan, ja ovat alttiimpia homehtumaan.

Tämä raportti koostuu johdannosta, teorialuvusta, tutkittavan rakenteen esittelystä, laskennasta, johtopäätöksistä ja yhteenvedosta. Teorialuvussa esitellään rakennusfysikaaliseen toimintaan liittyvät keskeiset suureet ja käydään läpi lämmön ja kosteuden liikkuksen mekanismit rakenteissa. Tutkittavaa rakennetta käsittelevässä luvussa pohditaan hyvää ja toimivaa ulkoseinärakennetta ja esitellään tarkemmin tutkimukseen valittu kohde. Tässä osiossa tarkastellaan myös eri lisäeristämisen ratkaisuja. Laskentaluvussa kerätään lähtötiedot tietokoneavusteiseen laskentaan, esitetään laskennan tulokset ja sovitetaan saadut tulokset homemalliin. Johtopäätöksissä tulkitaan laskennan ja homemallin tuloksia sekä pohditaan eri ratkaisujen riskejä pidemmän ajan kuluessa.

## 2. TEORIA

### 2.1 Lämpö

Lämpö on aineen sisäistä energiaa. Lämpö esiintyy aineen atomien ja molekyylien liike-energiana ja lämpösäteilynä. Lämpö voi siirtyä johtumalla, konvektiolla tai säteilemällä.

Aineen hiukkasten liike-energian suuruutta kuvataan lämpötilalla. Lämpö on kyky tehdä työtä sisäisen energian perusteella. Tämän ansiosta lämpötilaerot pyrkivät tasaantumaan. Lämpötilat tasaantuvat kuumemman aineen luovuttaessa energiaa kylmemmälle. Tasaantumisnopeus on riippuvainen lämpötilaeron suuruudesta. (RIL-117 1979, s. 46)

Rakenteiden lämpötekniisten olosuhteiden kannalta tärkeä materiaaliominaisuus on lämmönjohtavuus  $\lambda$ . Lämmönjohtavuuden ja materiaalikerroksen paksuuden avulla saadaan yksittäisen kerroksen lämpövastus. Jos rakenne on kerroksellinen, lämpövastus on yksittäisen materiaalikerrosten lämpövastusten ja rakenteen pintavastusten summa. Koko rakenteen lämmönläpäisykerroin saadaan sen lämpövastuksen käänteislukuna. (RIL-117 1979, s. 46 - 47)

#### 2.1.1 Lämmön johtuminen

Johtuminen on atomien ja molekyylien liike-energian siirtymistä hiukkaselta toiselle. Lämmön johtumista aiheuttavia liike-energian muotoja ovat atomien ja molekyylien translaatio ja värähtely sekä vapaiden elektronien liike. Atomien ja molekyylien translaatiota tapahtuu nesteissä ja kaasuissa, värähtelyä kiinteissä aineissa ja vapaiden elektronien liikettä johteissa. (RIL-117 1979, s. 46)

Lämmön johtuminen huokoisessa aineessa tapahtuu kiinteän osan sekä huokosissa olevan veden ja ilman kautta. Jos huokonen on hyvin pieni, johtumisen oletetaan tapahtuvan molekyylien törmäilyinä huokosen seinämien välillä. Jos aineen huokoisuus on suuri, ei kiinteän osan lämmönjohtavuudella ole suurta vaikutusta. Kiinteän osan lämmönjohtavuuteen vaikuttavat sen kiderakenne, atomien lukumäärä molekyylissa, lämpötila, sulamispiste ja kovuus. Huokosten lämmönjohtavuuteen vaikuttaa niiden vedellä kyllästymisen aste, sillä vesi johtaa lämpöä noin 20 kertaa paremmin kuin ilma. Ilman sisältämän kosteuden vaihtelut eivät juuri vaikuta lämmönjohtavuuteen. (RIL-117 1979, s. 52 - 55)

Rakenteessa voi olla pieniä osia, joiden lämmönjohtavuus ympäristöönsä nähden on hyvin suuri. Tällaisia rakenteen osia kutsutaan kylmäsilloiksi. Kylmäsillat muodostavat ympärilleen moniulotteisen lämpötilakentän. Käsin suoritettavassa energialaskennassa on

järkevämpää käyttää konduktanssia rakenteen lämmönläpäisyn lisänä. Konduktanssi ei ole riippuvainen rakenteen pinta-alasta vaan kertoo suoraan sen läpi kulkevan lämpöenergian määrän suhteessa eri puolten lämpötilaeroon. (RIL-117 1979, s. 47, 59)

### **2.1.2 Lämmön konvektio**

Konvektiossa lämpö siirtyy välittäjäaineen mukana. Konvektiolla on kaksi eri muotoa, pakotettu ja luonnollinen. Luonnollinen konvektio on lämpötilaeron aiheuttaman tiheyseron aikaansaamaa liikettä nesteissä ja kaasuissa. Pakotetussa konvektiossa välittäjäaine liikkuu ulkoisen voiman takia. (Björkholtz 1997, s. 13)

Konvektiota rakenteissa esiintyy tyypillisesti luonnollisen ja pakotetun konvektion yhdistelmänä. Luonnollista konvektiota tapahtuu esimerkiksi lämmityspatterien lähellä, joissa ilma lämmitessään kevenee ja nousee ylöspäin. Pakotettua konvektiota tapahtuu sisällä esimerkiksi ilmanvaihdon puhaltimien ja ihmisten liikkumisen takia ja ulkona ensisijaisesti tuulen vaikutuksesta. (Björkholtz 1997, s. 13)

Konvektion mukana voi siirtyä suuriakin lämpömääriä. Väljien rakenteiden läpi vuotava lämmin sisäilma on korvattava kylmällä ulkoilmalla, joka vaatii lämmitystä (Björkholtz 1997, s. 13). Voimakkaan alipaineen sisälle luova ilmanvaihto voi saada aikaan pakotetun konvektion ulkoilmasta sisälle. Tällöin kylmän ilman lisäksi mukana voi tulla sisäilmaan kuulumattomia epäpuhtauksia. (RIL-249 2015, s. 160)

### **2.1.3 Lämpösäteily**

Kappale, jonka lämpötila on korkeampi kuin absoluuttinen nollapiste, emittoi eli lähettää sähkömagneettista aaltoliikettä. Kappale siis luovuttaa energiaa ympäristöönsä säteilemällä. Kappaleen lähettämän lämpösäteilyn määrä voidaan laskea, jos tunnetaan pinnan lämpötila ja emissiviteetti. (Björkholtz 1997, s. 12)

Rakenteen kyky vastaanottaa säteilyä riippuu pääasiassa sen pintakerroksesta. Säteilyn vastaanottoa kuvaa pinnan kyky heijastaa, absorboida ja läpäistä säteilyä. (Björkholtz 1997, s. 13) Materiaaleja, joilla on korkea heijastuskerroin, voidaan käyttää esimerkiksi ikkunan kaihtimissa estämään rakennuksen yllälämpenemistä. Lämmityskaudella ikkunoiden läpäisevää auringonsäteilyä hyödynnetään rakennuksen lämmittämisessä.

## 2.2 Kosteus

Kosteus voi siirtyä rakenteessa usealla eri tavalla myös samanaikaisesti. Kosteuden siirtymismekanismeja ovat diffuusio, konvektio, kapillaarivirtaus ja ulkoisen paineen aiheuttama virtaus. Nestemäinen vesi voi lisäksi siirtyä painovoiman tai liike-energiansa ansiosta. (RIL-107 2000, s. 26 - 27)

Ilman absoluuttinen kosteus määrä on ilman sisältämän veden massa tiettyä tilavuutta kohden. Ilman sisältämällä absoluuttisella kosteus määrällä on lämpötilasta riippuva maksimiarvo siten, että kylmä ilma voi sisältää vähemmän vettä kuin lämmin. Ilman suhteellinen kosteus on sen hetkinen absoluuttinen kosteus suhteessa absoluuttisen kosteuden maksimiarvoon. Ilman suhteellisen kosteuden saavuttaessa 100 % arvon vesihöyry alkaa tiivistymään nesteeksi. (RIL-250 2011, s. 60)

Rakenteiden kosteusteknisten olosuhteiden kannalta tärkeä materiaaliominaisuus on vesihöyrynläpäisevyys ( $\delta$ ). Vesihöyrynläpäisevyyden ja materiaalikerroksen paksuuden avulla saadaan yksittäisen kerroksen vesihöyrynvastus ( $Z$ ). Pintavastuksia vesihöyrylle ei käsin laskussa yleensä huomioida, koska ne ovat pieniä.

### 2.2.1 Vesihöyryyn konvektio

Konvektiolla eli kulkeutumalla kosteus siirtyy vesihöyrynä ilmavirtausten mukana. Ilmavirtaus voi kiertää rakenteessa tai kulkea sen läpi. Jotta virtaus voisi tapahtua, on rakenteen eri puolilla oltava ilmanpaine-eroa ja rakenteen läpi virtausreitti. (RIL-107 2000, s. 27)

Konvektiolla siirtyvä vesihöyry kulkee esimerkiksi höyrynsulussa olevasta reiästä tai puutteellisista seinän ja yläpohjan välisistä tiivistyksistä. Jo pienestäkin reiästä voi siirtyä suuria ilmamääriä. Konvektiolla siirtyvän vesihöyryn määrä voi olla paikallisesti moninkertainen diffuusion verrattuna. (RIL-250 2011, s. 70 - 71) Tästä syystä rakenteiden sisäpinnan hyvä ilmatiiveys on tärkeää.

Ilmanpaine-eroja rakenteen eri puolilla aiheuttaa esimerkiksi rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä, lämpötilaerot ja tuuli. Ilmanvaihto suunnitellaan normaalisti siten, että sisäilma on lievästi alipaineinen ulkoilmaan nähden. Tällä pyritään estämään sisäilman kosteuden pääsy mahdollisista ilmasulun rei'istä rakenteisiin. (RIL-107 2000, s. 27) Kääntöpuolena tässä on ulkoilman epäpuhtauksien mahdollinen imeytyminen rakenteiden läpi sisäilmaan. Sisäilman ylipaine kylmällä ulkoilmalla aiheuttaa suurta kosteuden kertymisen riskiä, jos ilmansulussa on puutteita.



Rakennetta sisäpuolelta lisäeristäessä on tärkeää, että uuden ja vanhan lämmöneristeen väliin ei jää ilmatilaa. Tällöin kostea sisäilma voi jäähtyä kylmempään rajapintaan aiheuttaen ilman suhteellisen kosteuden kasvua ja mahdollisesti vesihöyryn kondensoitumista rakenteeseen. (RIL-107 2000, s. 28)

Ulkoilman konvektio rakenteisiin on kosteusteknisesti pienempi riski kuin sisäpuolelta tulevan, mutta se jäähdyttää rakennetta paikallisesti. Rakenteen jäähtyminen nostaa suhteellista kosteutta ja voi aiheuttaa sisäilman kosteuden kondensoitumista. (RIL-107 2000, s. 28)

Konvektion aiheuttama kosteuden kerääntyminen rakenteisiin on keskittynyt rakenteiden epäjatkuvuuskohtiin. Näitä epäjatkuvuuskohtia ovat esimerkiksi saumat, raot, läpiviennit ja vastaavat kohdat, joista sisäilma pääsee kulkeutumaan rakenteeseen. Riski haitalliseen kosteudenkertymään on suuri etenkin lämmityskaudella, jolloin lämpötilaero rakenteen läpi on suuri. (RIL-107 2000, s. 27)

### **2.2.2 Vesihöyryn diffuusio**

Ilman vesihöyrynpitoisuuden ero, jota voidaan kuvata myös vesihöyryn osapaine-erolla, aiheuttaa diffuusiota, eli kosteuden liikettä rakenteen läpi. Diffuusiota tapahtuu aina, kun vesihöyrypitoisuus on eri suuruinen rakenteen eri puolilla siten, että vesihöyry diffusoituu alenevan vesihöyrypitoisuuden suuntaan. (RIL-107 2000, s. 28)

Diffusion aiheuttamaan kosteusvirran suuruuteen vaikuttaa vesihöyrynpitoisuuseron suuruus ja rakenteen vesihöyrynläpäisevyys. Haitallista diffuusiota voidaan estää käyttämällä toimivia vesihöyrynvastusratkaisuja. (RIL-250 2011, s. 72) Hyvin suuren vesihöyrynvastuksen omaavia rakennekerroksia voidaan käyttää höyrynsulkuna eli estämään kosteuden diffusoituminen rakenteen kriittisiin osiin.

Diffusion tuomaa kosteutta kertyy rakenteeseen, jos vesihöyryä pääsee rakenteeseen enemmän kuin sitä poistuu (RIL-250 2011, s. 72). Diffuusio uhkaa kostuttaa rakennetta esimerkiksi silloin, kun ilman vesihöyrypitoisuus on korkea tulopuolella, lämpötila- ja höyrynpaine-ero vaihtelevat rakenteen eri puolilla tai rakenteessa on höyryn poistumispuolella höyrynvastukseltaan suuri rakennekerros (RIL-107 2000, s. 28).

### **2.2.3 Veden kapillaarinen liike**

Veden pintajännitysvoimat saavat aikaan huokosalipaineen materiaalin ollessa kosketuksissa vapaaseen veteen. Vesi siirtyy kapillaarisesti huokosalipaineen ansiosta. (RIL-250 2011, s. 71)

Huokosalipaineen suuruutta kuvataan kapillaarisella nousukorkeudella. Eri materiaaleilla on eri suuruiset kapillaariset nousukorkeudet. Tätä hyödynnetään esimerkiksi sopivan kiviaineksen valinnassa maanvaraisen alapohjan kapillaarikatkona toimivassa kerroksessa. (RIL-250 2011, s. 71 - 72)

Kapillaarinen veden siirtyminen voi tapahtua kaikkiin suuntiin. Ylöspäin tapahtuessa kapillaarinen siirtymä loppuu, kun painovoima kumoaa huokosalipaineen aiheuttaman imun. Vaakasuuntaista veden kapillaarista siirtymistä tapahtuu esimerkiksi silloin, kun ulkoseinän pinnalle kertyy vettä. (RIL-250 2011, s. 71 - 72)

## **2.2.4 Veden liike ulkoisen paineen vaikutuksesta**

Vettä siirtävää ulkoista painetta aiheuttavat esimerkiksi tuuli ja painovoima. Tuulen paine ja viistosade saavat aikaan veden virtaamista rakenteiden pinnoilla ja painovoima vetää vettä alaspäin. (RIL-107 2000, s. 29)

Veden virratessa rakenteen pinnalla voi se tuulen paineesta tunkeutua rakenteessa oleviin rakoihin. Haitallista tunkeutumista voidaan torjua räystäsrakenteilla, pellityksillä, ponttauksilla, tuuletusvälein ja muilla vastaavilla keinoilla. Rakenteen suunnittelussa olisi otettava huomioon veden ajoittainen tunkeutuminen pintarakenteen läpi ja järjestettävä rakenteen kuivumisen mahdollistavat olosuhteet. (RIL-107 2000, s. 29)

Veden painovoimaista valumista voidaan hallita kaltevilla pinnoilla. Maassa ja rakenteen pinnoilla valuva vesi tulee ohjata suunnitellusti ja turvallisesti pois rakennuksesta. Veden ohjaamiseen käytetään kaltevia pintoja, viemäreitä, salaojajärjestelmiä ja tarkoituksen mukaisia pintamateriaaleja. (RIL-107 2000, s. 29)

## **2.2.5 Kosteuslähteitä ja -rasituksia**

Rakenteita kuormittavat sisä- ja ulkopuoliset kosteuslähteet sekä rakennuskosteus. Myös rakenteen muilla rasituksilla on vaikutusta sen kosteustekniseen toimintaan. (RIL-250 2011, s. 63)

Rakennuskosteus on rakentamisen ja materiaalien valmistamisen aikaista kosteutta. Rakennuskosteus on peräisin valmistusprosessista tai rakentamisen ja logistiikan aikaisesta kastumisesta. Jotta rakennuskosteus ei nouse haitallisen suureksi, on rakenteet ja materiaalit suojattava sateelta ja maaperän kosteudelta. (RIL-250 2011, s. 68)

Rakenteita käytön aikana kuormittavia ulkoisia rasituksia ovat sadevesi ja lumi, ulkoilman vesihöyry, pintavesi, maaperän kosteus ja korkea pohjaveden pinnan taso. Sade-

vesi ja lumi voivat päästä rakenteisiin esimerkiksi vuotavan vesikatteen tai tuulen paineen työntämänä pintarakenteen rakojen kautta. Ulkoilman vesihöyry voi tietyissä olosuhteissa tiivistyä viileän rakenteen pintaan esimerkiksi kesällä tuulettuvissa alapohjissa. Pinta- ja pohjavesi sekä maaperän kosteus voi nousta kapillaarisesti perustuksia pitkin rakenteisiin tai imeytyä kellariin maanvastaisten seinien läpi. (RIL-250 2011, s. 63 - 65)

Rakenteita käytön aikana kuormittavia sisäisiä rasituksia ovat sisäilman vesihöyry, roiskevesi, veden tiivistyminen ja mahdolliset vesivahingot. Vesihöyry voi päästä rakenteisiin diffusoitumalla sen sisäpinnan läpi ja konvektion avulla rakenteessa olevien rakojen kautta ilmavirtauksien mukana. Vesihöyry voi tiivistyä kylmiin pintoihin, esimerkiksi kylmiin putkiin tai kanaviin, ja valua rakenteisiin. Vettä voi joutua rakenteisiin myös putki- vuodoista. (RIL-250 2011, s. 65 - 68)

Muita rakenteeseen vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi mekaaniset kuormitukset, liiallinen lämpö sekä kemialliset ja biologiset prosessit. Nämä rasitukset voivat nopeuttaa rakenteen vanhentumista tai aiheuttaa nopean hajoamisen. Muiden tekijöiden aiheuttamat rasitukset huomioidaan rakenneratkaisun käyttöikää arvioitaessa. (RIL-107 2000, s. 26)

## **2.3 Laskenta**

Lämpötila- ja kosteusolosuhteet rakenteissa lasketaan tietokoneavusteisesti Wufi 2D-ohjelmalla. Ohjelma laskee mallinnetun rakenteen eri pisteissä olevan lämpötilan ja suhteellisen kosteuden ajan suhteen. Laskennassa huomioidaan ulko- ja sisäilmasto-olosuhteet, materiaaliominaisuudet ja rakenteen lähtötila.

Wufi-ohjelmalla saatuja tuloksia hyödynnetään rakenteen homeindeksin eli rakenteen homehtumisasteen määrittämisessä. Wufilla saadut tulokset analysoidaan Suomalaisen homemallin avulla. Homemalli antaa homehtumisasteen selkeästi yhtenä lukuarvona.

### **2.3.1 Wufi 2D**

Rakenne mallinnetaan yksittäisten rakenneosien poikkileikkauksena, jossa jokaisen rakenneosan sisälle ohjelma luo elementtiverkon. Tuloksia voidaan tarkastella jokaisen rakenneosan sisäisen elementtiverkon jokaisessa pisteessä.

Mallinnetun rakenteen pinnoille määritetään ilmasto-olosuhteet, joissa ilma pinnan ulkopuolella on. Näitä olosuhteita ovat ulkoilmasto ja sisäilmasto. Ulkoilmaolosuhteet ovat wufin kirjastosta ja sisäilmaolosuhteet standardin ISO-13788 mukainen kosteusluokka 2. Rakenteelle voidaan myös määrittää pintoja, joiden läpi ei sallita kosteuden tai lämmön siirtymistä. Tällaista pintaa nimitetään adiabaattiseksi.

Laskenta-aikana on hyödyllistä käyttää yhtä vuotta ja laskenta välinä yhtä tuntia. Tämä tarkoittaa sitä, että yhdestä laskennasta saadaan 8760 yksittäistä tulosta. Yksittäiset lämpötilan ja suhteellisen kosteuden arvot siirretään homemalliin.

Vinha et al. (2013, s. 120) toteaa tutkimuksessaan, että Wufi -ohjelmalla lasketut lämpötilan ja suhteellisen kosteuden arvot vastaavat melko hyvin rakenteesta mitattuja arvoja. Lämpötilan suhteen laskenta on tarkempi kuin suhteellisen kosteuden.

### 2.3.2 Suomalainen homemalli ja homeindeksi

Suomalainen homemalli on TTY:n ja VTT:n yhteistyössä kehittämä laskentamalli, jolla voidaan kuvata eri materiaalien pinnan homehtumista. Homemalliin syötetään tutkittavan materiaalin pinnan lämpötila ja suhteellinen kosteus. Mallissa valitaan myös pinnan homehtumisherkkyttä ja -maksimimäärää sekä homeen taantumista kuvaavat luokat. Kahden eri materiaalin rajapinnassa paremmin hometta vastustavaa materiaalia tutkittaessa valitaan homeen maksimimäärä tutkittavan materiaalin mukaan, mutta homehtumisherkkyys heikomman materiaalin mukaan. (Suomalainen homemalli 2019)

Homemalli antaa tulokseksi homeindeksin. Homeindeksi kuvaa pinnan homehtumistasetta lukuarvona 0 – 6. Homeindeksin arvoja vastaavat homehtumisasteet esitetty kuvassa 1.

Home-indeksi M	Havaittu homeenkasvu	Huomautuksia
0	Ei kasvua	Pinta puhdas
1	Mikroskoopilla havaittava kasvu	Paikoin alkavaa kasvua, muutama rihma
2	Selvä mikroskoopilla havaittava kasvu	Homerihmasto peittää 10 % tutkittavasta alasta (mikroskoopilla). Useita rihmastopesäkkeitä muodostunut.
3	Silmin havaittava kasvu Selvä mikroskoopilla havaittava kasvu	Alle 10 % peitto alasta (silmillä) Alle 50 % peitto alasta (mikroskoopilla) Uusia itiöitä alkaa muodostua
4	Selvä silmin havaittava kasvu Runsas mikroskoopilla havaittava kasvu	Yli 10 % peitto alasta (silmillä) Yli 50 % peitto alasta (mikroskoopilla)
5	Runsas silmin havaittava kasvu	Yli 50 % peitto alasta (silmillä)
6	Erittäin runsas kasvu	Lähes 100 % peitto, tiivis kasvusto

**Kuva 1: Homeindeksi (Suomalainen homemalli 2019)**

## 3. TUTKITTAVA RAKENNE

### 3.1 Ulkoseinärakenne

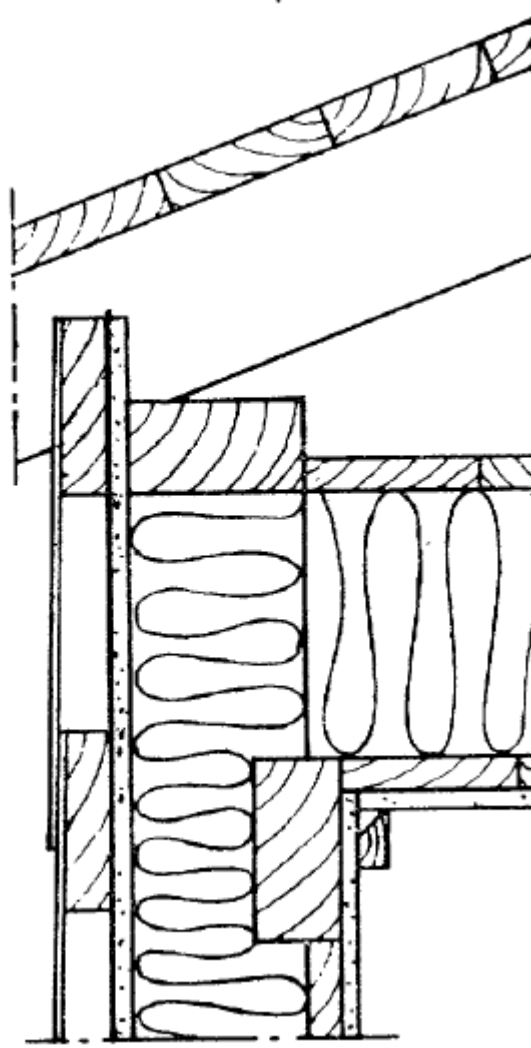
Hyvä ulkoseinä rakenne voi koostua erilaisista kerroksista. Tyypillinen esimerkki kerroksellisesta ulkoseinärakenteesta ulkoapäin on julkisivuverhous, tuuletusrako, tuulensuojakerros, lämmöneriste/runko, höyrynsulku ja sisäverhous. Huolellisesti ja oikeilla materiaaleilla toteutettuna tämän tyyppinen ulkoseinärakenne on kestävä ja rakennusfysikaalisesti toimiva ratkaisu.

Ulkoseinän pitkäikäisyyden ja toiminnan kannalta tärkeää on sen kosteustekniset ominaisuudet. Oikeanlainen kosteustekninen toiminta edellyttää riittävää diffuusio- ja ilmatäivyyttä. Vesihöyryn vastus rakenteen sisäpuolella on oltava korkea ja sen on pienennytävä ulospäin mentäessä merkittävästi. Rakenteen yksityiskohdat on suunniteltava siten, että vesi johdetaan ulos rakenteesta ja ettei rakenteeseen muodostu kylmäsiltoja. Rakenteeseen joutuvan kosteuden on pystyttävä kuivumaan pois. (RIL-249 2015, s. 158 - 159)

Homeen kasvun edellyttämät olosuhteet ovat yli 0 °C ja suhteellinen kosteus yli 80 %. Jos olosuhteet muuttuvat epäedullisiksi, voi home taantua eli määrällisesti vähentyä. (Suomalainen homemalli 2019) On tärkeää, että olosuhteet ulkoseinässä eivät ole pitkään yhtäjaksoisesti homeen kasvulle edulliset.

### 3.2 Alkuperäinen rakenne

Alkuperäinen rakenne on RT 822.317 -kortissa esitetty rankarunkoinen mineraalivillaeristeinen pientalon ulkoseinä. Rakenne on esitetty kuvassa 2.

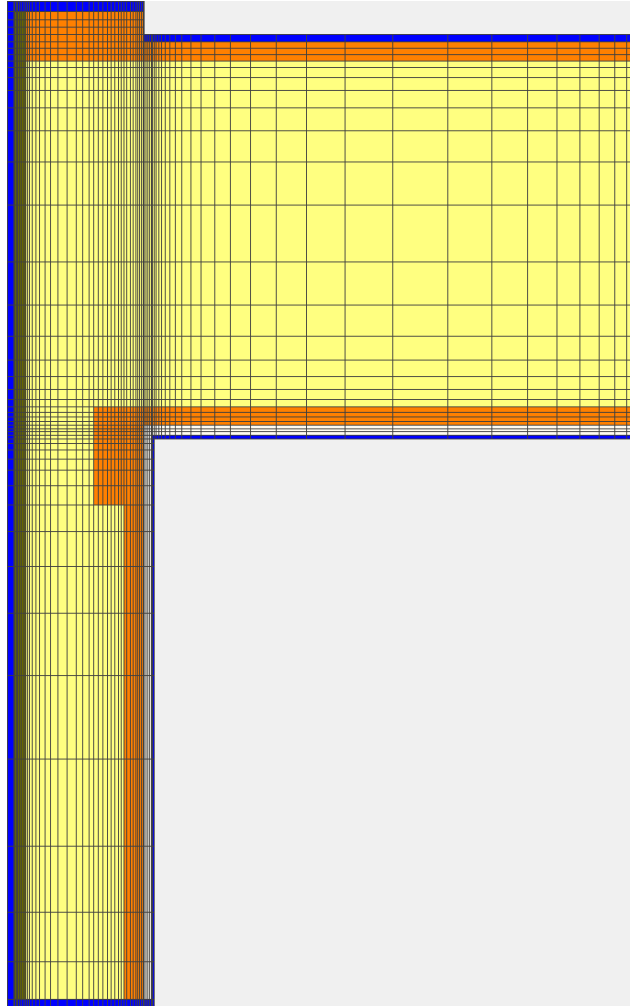


**Kuva 2: Tutkittava rakenne (RT 822.317 1958)**

Tutkittava rakenne ulkoapäin katsottuna: asbestisementtilevy, harva vaakalaudoitus (22 x 100 mm), vuorauspahvi, huokoinen puukuitulevy (12 mm), kantava tolppa (50 x 100 mm), mineraalivilla (100 mm), sahalauta (19 x 100 mm) ja kipsilevy (10 mm) (RT 822.317 1958). Tutkittava rakenne on potentiaalinen lisäeristyskohde, koska sen eristepaksuus on vain 100 mm ja U-arvo noin 0,4 W/Km<sup>2</sup>.

Alkuperäisessä rakenteessa hyvän kosteusteknisen toimivuuden periaatteet ovat kohtalaisen hyvin nähtävillä. Rakenteessa ei ole sisäpuolella höyrynsulkuna toimivaa materiaalikerrosta, mutta vesihöyryn vastus pienenee ulospäin mentäessä. Rakenteessa oleva julkisivuverhouksen alapuolinen tuuletusrako on vain yhteen suuntaan koolattu. Tämä voi aiheuttaa ongelmia välin tuulettuvuuteen tai jos sinne valuu vettä esimerkiksi rikkoutuneen julkisivun takia.

Alkuperäinen rakenne mallinnettuna on esitetty kuvassa 3. Mallinnuksessa on huomioitu myös yläpohjan rakennetta, koska sen kautta kulkevalla lämpö- ja kosteusvirralla voi olla vaikutus tutkittavaan seinärakenteeseen.



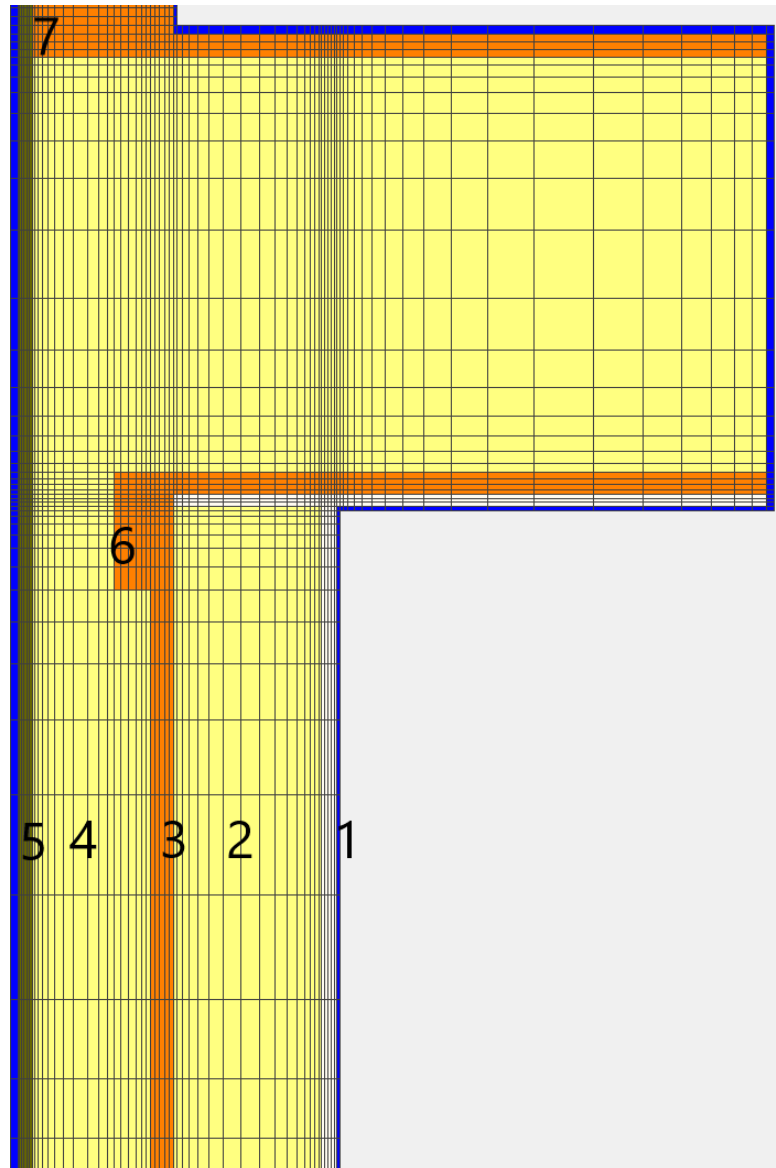
**Kuva 3: Alkuperäinen rakenne mallinnettuna**

### **3.3 Lisäeristysratkaisut**

Lisäeristystä tutkittaessa käytetään materiaalivalmistajan kuvaamaa rakennetta. Tutkimukseen valittu lisäeristys on Paroc eXtra- villalevyllä sisäpuolelta lisäeristetty ulkoseinä. Materiaalivalmistaja kuvaa lisäeristysrakenteen olevan vanhan sisäpuolisen laudoituksen päälle tuleva koolaus ja eriste, ilman- / höyrynsulku sekä sisäverhous (Paroc 2019).

Tutkimuksessa analysoidaan erikseen höyrynsululla varustettua ja ilman höyrynsulkua olevaa rakennetta. Molemmissa rakenteissa uuden mineraalivillan paksuus on 125 mm

ja sisäverhouksena kipsilevy. Lisäeristetyn rakenteen U-arvo on noin  $0.17 \text{ W/Km}^2$ . Lisäeristetty rakenne mallinnettuna on esitetty kuvassa 4. Kuvassa numeroituna eri rakennekerrokset siten, että 1 on uusi kipsilevy, 2 on uusi mineraalivilla, 3 on vanha sisälaudoitus, 4 on vanha mineraalivilla, 5 on tuulensuojalevy, 6 on seinäpalkki ja 7 on yläsidepuu.



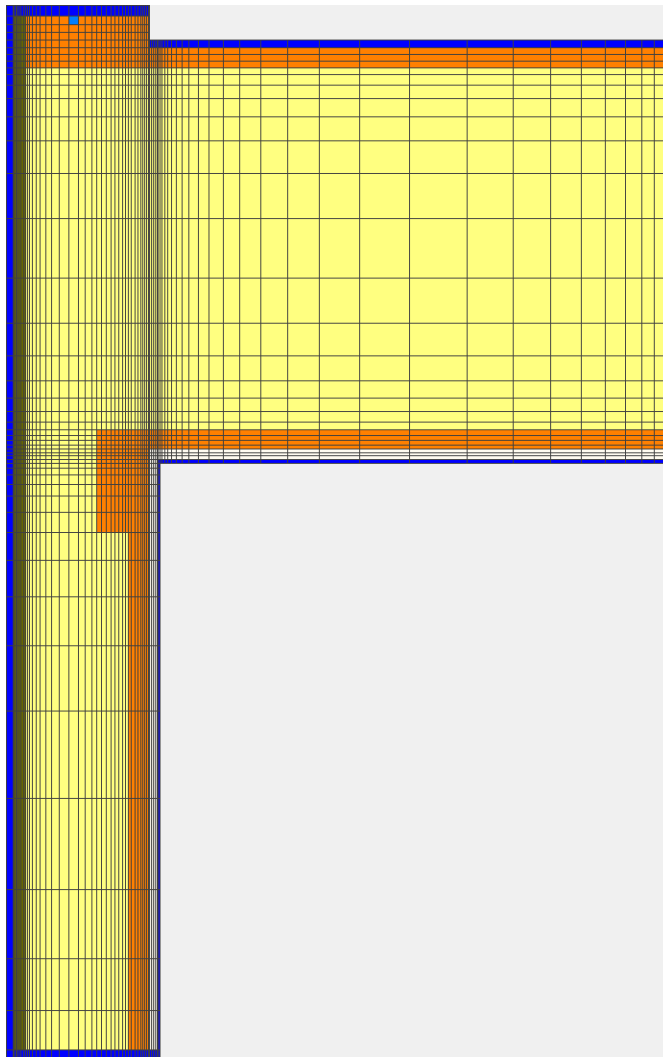
**Kuva 4: Lisäeristetty rakenne**



## 4. LASKENNAN TULOKSET

### 4.1 Alkuperäinen rakenne

Alkuperäisessä rakenteessa homehtumiselle alttein paikka on yläsidepuun yläpinnassa. Tutkittu elementtiverkon piste on esitetty kuvassa 5.



**Kuva 5: Alkuperäisen rakenteen homeelle alttein paikka**

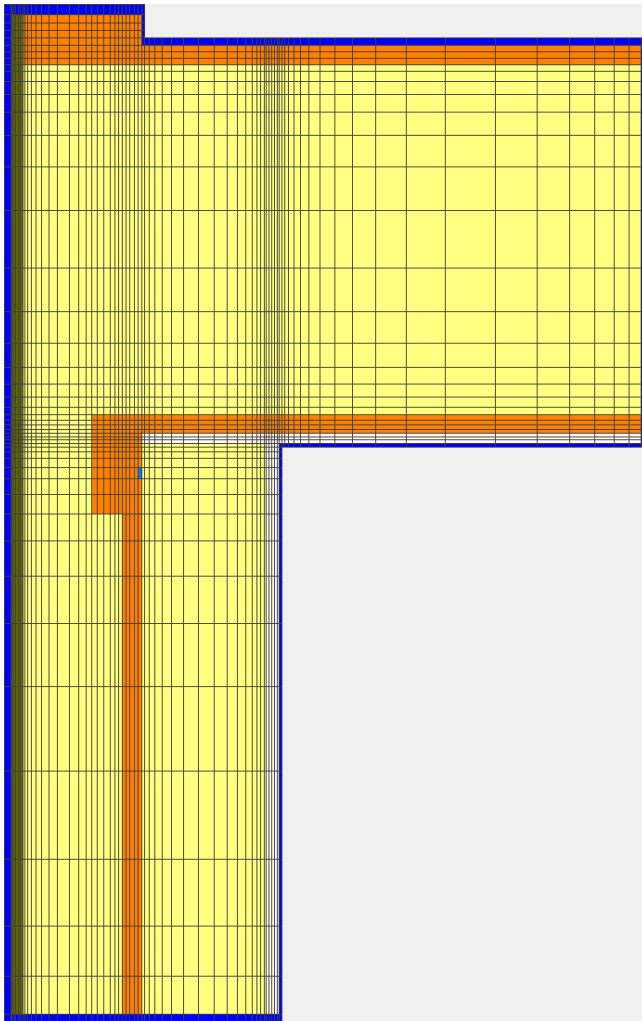
Alkuperäisen rakenteen homeindeksin arvo vaihtelee 0 ja 0.486 välillä. Alkuperäisessä rakenteessa ei ole homeetta.

Liitteessä 1 on esitetty alkuperäisen rakenteen eri osissa olevia lämpötilan ja suhteellisen kosteuden kuvaajia. Alkuperäisen rakenteen kuvaajista nähdään, että lämpötila ja

suhteellinen kosteus ovat vain harvoin samaan aikaan homeelle altistavissa lukemissa. Homehtumisen mahdollistavat olosuhteet ilmenevät vain seinän ulko-osissa vaihtelevasti elokuun alun ja lokakuun lopun välisenä aikana.

## 4.2 Lisäeristetty rakenne höyrynsululla

Höyrynsululla varustetussa lisäeristetyssä rakenteessa homeelle alttein paikka on seinäpalkin sisäpinnassa. Tutkittu elementtiverkon piste on esitetty kuvassa 6.



**Kuva 6: Lisäeristetyn rakenteen homeelle alttein paikka**

Tämän rakenteen homeindeksin arvo vaihtelee 0 ja 0.617 välillä. Rakenteessa ei ole hometta.

Liitteessä 1 on esitetty höyrynsululla varustetun lisäeristetyn rakenteen eri osissa olevia lämpötilan ja suhteellisen kosteuden kuvaajia. Kuvaajista nähdään, että homehtumisen

mahdollistavia olosuhteita on seinän ulko-osissa vaihtelevasti elokuun alun ja lokakuun lopun välisenä aikana ja vanhan seinäpalkin sisäpinnassa lokakuun alusta tammikuun loppuun asti.

### 4.3 Lisäeristetty rakenne ilman höyrynsulkua

Ilman höyrynsulkua olevassa lisäeristetyssä rakenteessa homeelle alttein paikka on seinäpalkin sisäpinnassa. Paikka on sama kuin höyrynsululla varustetussa lisäeristetyssä rakenteessa. Seuraavaksi alttein paikka on vanhan sisälaudoituksen ja uuden mineraalivillan välinen pinta.

Tämän rakenteen homeindeksin arvo vaihtelee 0 ja 3.647 välillä. Rakenteessa on siis selkeää silmin havaittavaa homehtumista. Homeindeksin korkeat arvot rajoittuvat kuitenkin seinäpalkin sisäpintaan. Muualla homeindeksin arvo on alle 1.

Liitteessä 1 on esitetty ilman höyrynsulkua olevan lisäeristetyn rakenteen eri osissa olevia lämpötilan ja suhteellisen kosteuden kuvaajia. Kuvaajista nähdään, että homehtumisen mahdollistavia olosuhteita on seinän ulko-osissa vaihtelevasti elokuun alun ja lokakuun lopun välisenä aikana ja vanhan seinälaudoituksen ja seinäpalkin sisäpinnassa lokakuun alusta tammikuun loppuun asti.

Höyrynsululla ja ilman sitä olevia rakenteita verratessa huomataan, että höyrynsululla olevassa rakenteessa suhteellisen kosteuden maksimi-arvot rakenteen sisällä jäävät matalammiksi, kuin ilman höyrynsulkua olevassa rakenteessa. Lämpötilakäyrät ovat lähes samanlaiset.

### 4.4 Laskennan virhetarkastelu

Laskennassa luotu malli ei vastaa kaikilta ominaisuuksiltaan todellisuutta. Malli on idealisoitu, eikä huomioi rakenteen kulumista eikä mahdollisia epätäydellisyyksiä.

Mallissa ei ole huomioitu julkisivupintoja eikä tuuletusrakoa. Esimerkiksi auringon säteily lämmittää pintamateriaalia ja siten myös koko rakennetta. Toisaalta pinnan alla olevassa tuuletusraossa ilma vaihtuu viileämpään ja mahdollisesti kostempaan. Höyrynsululla varustetun rakenteen mallissa ei höyrynsululle ole luotu omaa kerrosta vaan sen vaikutus on sisällytetty kipsilevyn vesihöyrynvastusta kasvattamalla.

Wufi -ohjelman materiaalikirjaston sisältämät materiaalit eivät välttämättä vastaa kaikilta ominaisuuksiltaan niitä materiaaleja, joita alkuperäisessä rakenteessa on käytetty. Lisäksi rakenteen vanhetessa on esimerkiksi mineraalivilla voinut likaantua ja olla alttiimpi

homehtumiselle. Tässä työssä ei kriittistä homeen kasvua havaittu alkuperäisten lämmöneristeiden rajapinnoilla.

Laskennassa valitut ilmasto-olosuhteet voivat vaihdella verrattuna oikeisiin olosuhteisiin. Erityisesti ilmaston muuttumisen takia voi laskennassa käytössä ollut mitoitusvuoden ilmasto olla hyvin erilainen nykyiseen ja tulevaisuuden ilmastoon verrattuna.

Virheen osuus voidaan olettaa niin pieneksi, että se ei laskennan johtopäätöksiä muuta. Yksilöidystä kohteesta on mahdollista tehdä tarkemmat laskelmat, kun eri muuttujia voidaan määrittää tarkemmin.

## 5. JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

### 5.1 Rakennusfysikaalisten olojen muutos

Lisäeristäminen on muuttanut rakenteen eri osissa olevia lämpötila- ja kosteusolosuhteita. Huomattavaa muutosta on esimerkiksi lisäeristetyin rakenteen keskivaiheilla, jossa lämpötila on paljon alhaisempi, kuin alkuperäisessä tilassaan.

Höyrynsululla on suuri merkitys lisäeristetyin rakenteen kosteusolosuhteisiin. Ilman höyrynsulkua olevasta rakenteesta huomataan puisten rakenneosien toimivan suhteellisen suurina höyrynvastuskerroksina.

### 5.2 Lisäeristämisen toimivuuden arviointi

Lisäeristäminen altistaa rakenteen kosteusteknisesti riskialttiisiin olosuhteisiin. Vanhat rakenteet ovat kylmempiä kuin aiemmin ja kondenssin riski niihin on siten suurempi. Rakenteen sisäpuolista lisäeristämistä on harkittava tarkkaan ennen toteuttamista.

Homehtumisen näkökulmasta ajateltuna rakenne on mahdollista lisäeristää sisäpuolelta höyrynsululla varustettuna. Liitokset alkuperäisiksi jääviin rakenteisiin ovat kriittisiä rakenteen homehtumisriskin kannalta. Huomion arvoista on myös todennäköinen rakennuksen ilmapitävyyden parantuminen ja sen takia tarpeellinen ilmanvaihdon päivittäminen.

Todennäköisesti turvallisoin vaihtoehto lisäeristämislle olisi ulkopuolisen tuulensuojan lämmönvastuksen kasvattaminen. Näin vanhat seinärakenteet jäisivät lämpimämpään ja siten kuivempaan tilaan. Samalla ulkoseinän tuuletusvälin mahdolliset puutteet voitaisiin korjata. Tässä vaihtoehdossa on otettava huomioon räystäiden riittävä pituus seinän suojaksi.

### 5.3 Jatkotutkimuksia

Tutkimusta voisi laajentaa usealla tavalla. Tärkeimpiä lisätutkimuksia olisivat kustannustarkastelu, rakenteen toiminta tulevaisuuden ennustetussa ilmastossa, rakennuksen muiden osien toiminta ja muutostyön vaikutus rakennuksen käyttöikään.

# LÄHTEET

D. Björkholtz, (1997). Lämpö ja kosteus: rakennusfysiikka. Helsinki: Rakennustieto. 150 s.

Paroc (2019). Paroc Group. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu: 30.11.2019): <https://www.paroc.fi/kayttokohteet/rakennusten-eristaminen/ulkoseinan-eristys-ja-lisaeristys/puurunkoseinan-eristys-ja-lisaeristys>

RIL 107-2000 (2000). Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 211 s.

RIL 117 (1979). Lämmön- ja kosteudeneristys. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 378 s.

RIL 249-2015 (2015). Energiatehokas asuinrakennus: kohti lähes nollaenergiarakentamista. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 250 s.

RIL 250-2011 (2011). Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 243 s.

RT 822.317 (1958). ULKOSEINÄ, PUURUNKOINEN, mineraalivillaeriste, ulkoverhouksena asbestisementtilevy. Rakennustietosäätiö. 2 s.

Rakennusfysiikan tutkimusryhmä. Suomalainen homemalli. Tampereen yliopisto Saatavissa (viitattu 26.11.2019): <https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/suomalainen-home-malli/>

J. Vinha, A. Laukkanen, M. Mäkitalo, S. Nurmi, P. Huttunen, T. Pakkanen, P. Kero, E. Manelius, J. Lahdensivu, A. Köliö, K. Lähdesmäki, J. Piironen, V. Kuhno, M. Pirinen, A. Aaltonen, J. Suonketo, J. Jokisalo, O. Teriö, A. Koskenvesa & T. Palolahti. Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristykseen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Rakennetekniikka. Tutkimusraportti 159. Tampere, Suomi. 354 s. Saatavissa: <https://tutcris.tut.fi/portal/en/publications/ilmastonmuutoksen-ja-lammoe-neristykseen-lisayksen-vaikutukset-vaipparakenteiden-kosteusteknisessa-toiminnassa-ja-rakennusten-energiankulutuksessa%289092ab78-5ecf-4dc1-a53f-8eb20ad62d3c%29.html>

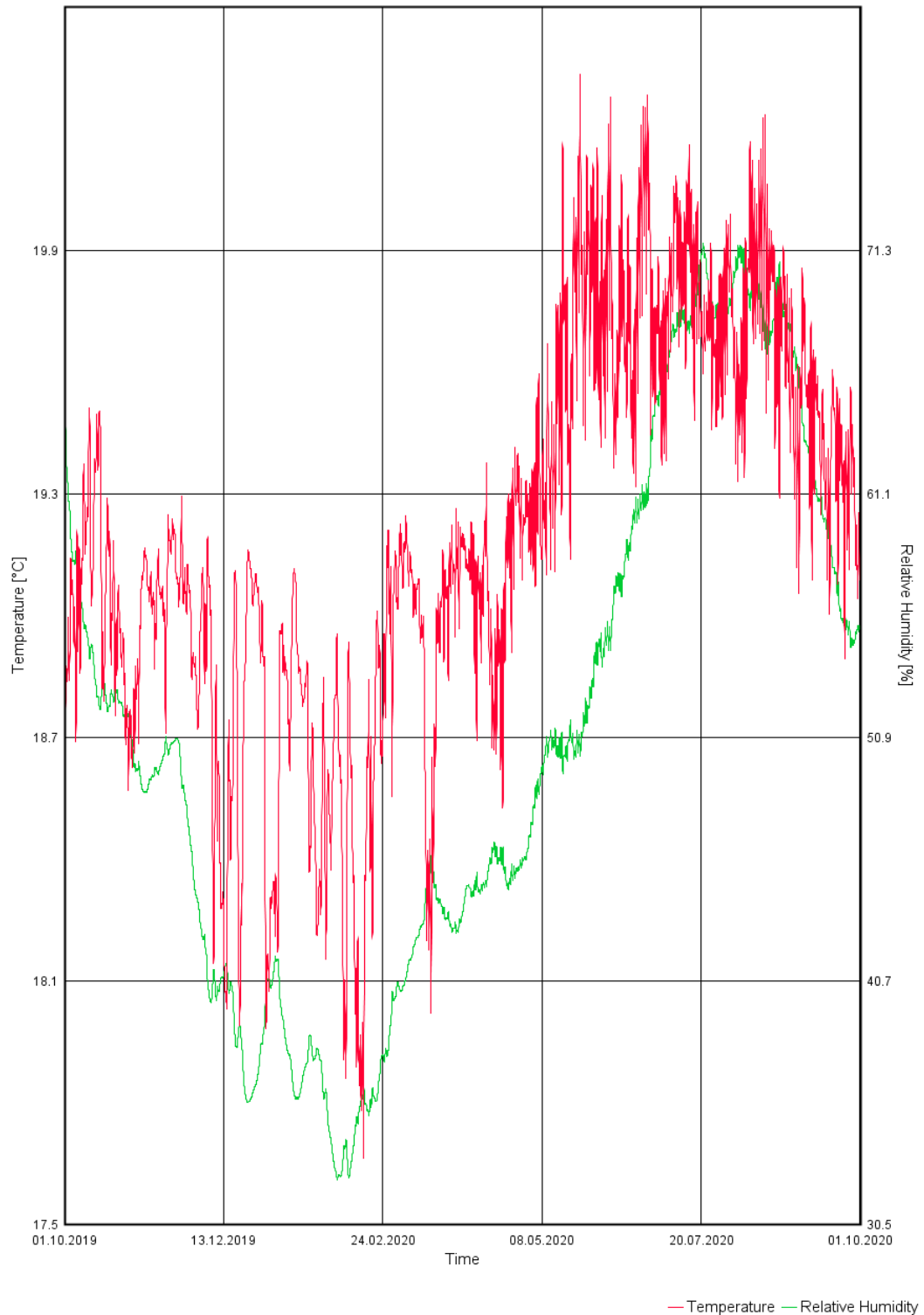
# LIITTEET

Liite 1: Rakenteiden lämpötilan ja suhteellisen kosteuden kuvaajia

# LIITE 1: Rakenteiden lämpötilan ja suhteellisen kosteuden kuvaajia

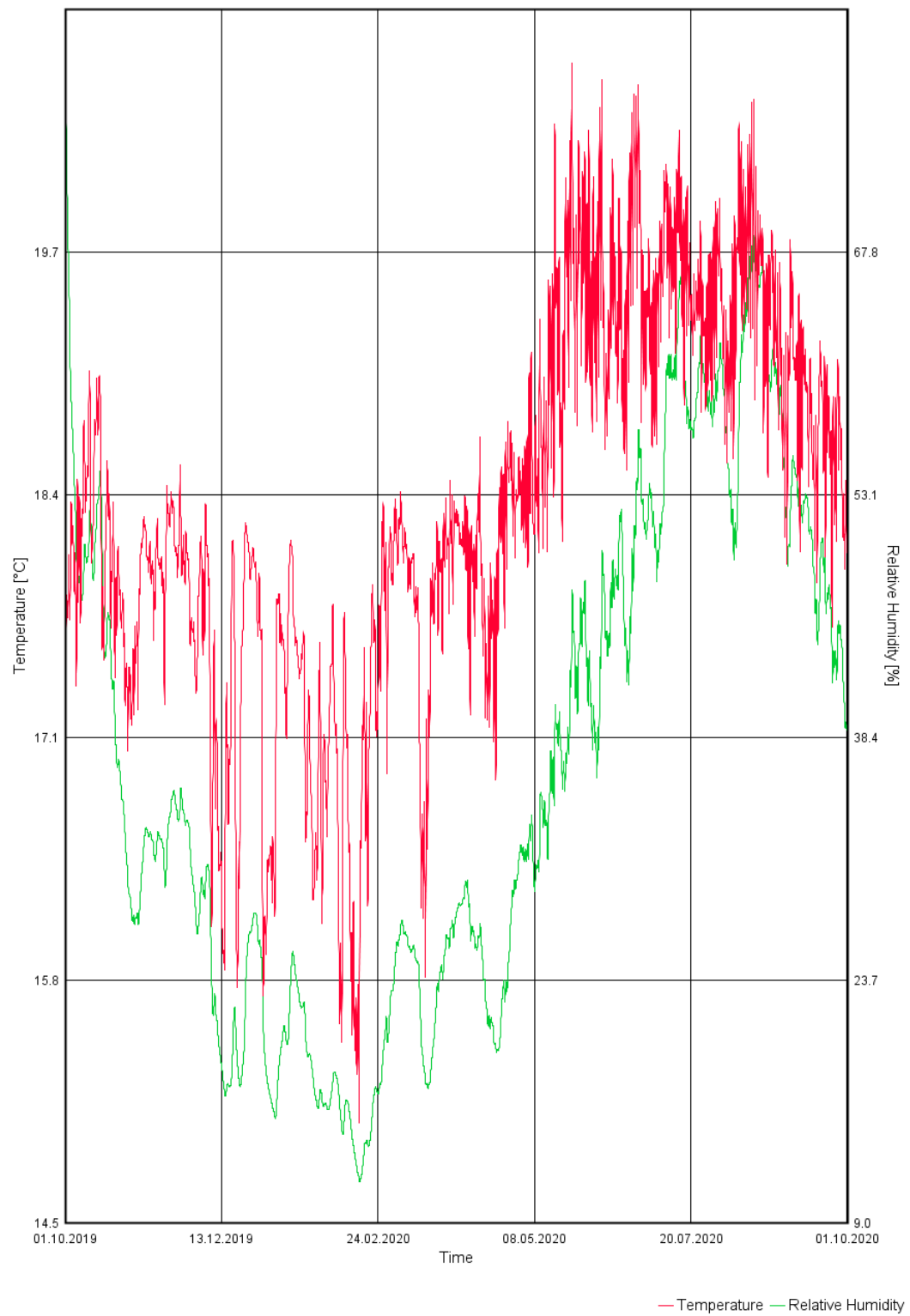
## 1.1 Alkuperäinen rakenne

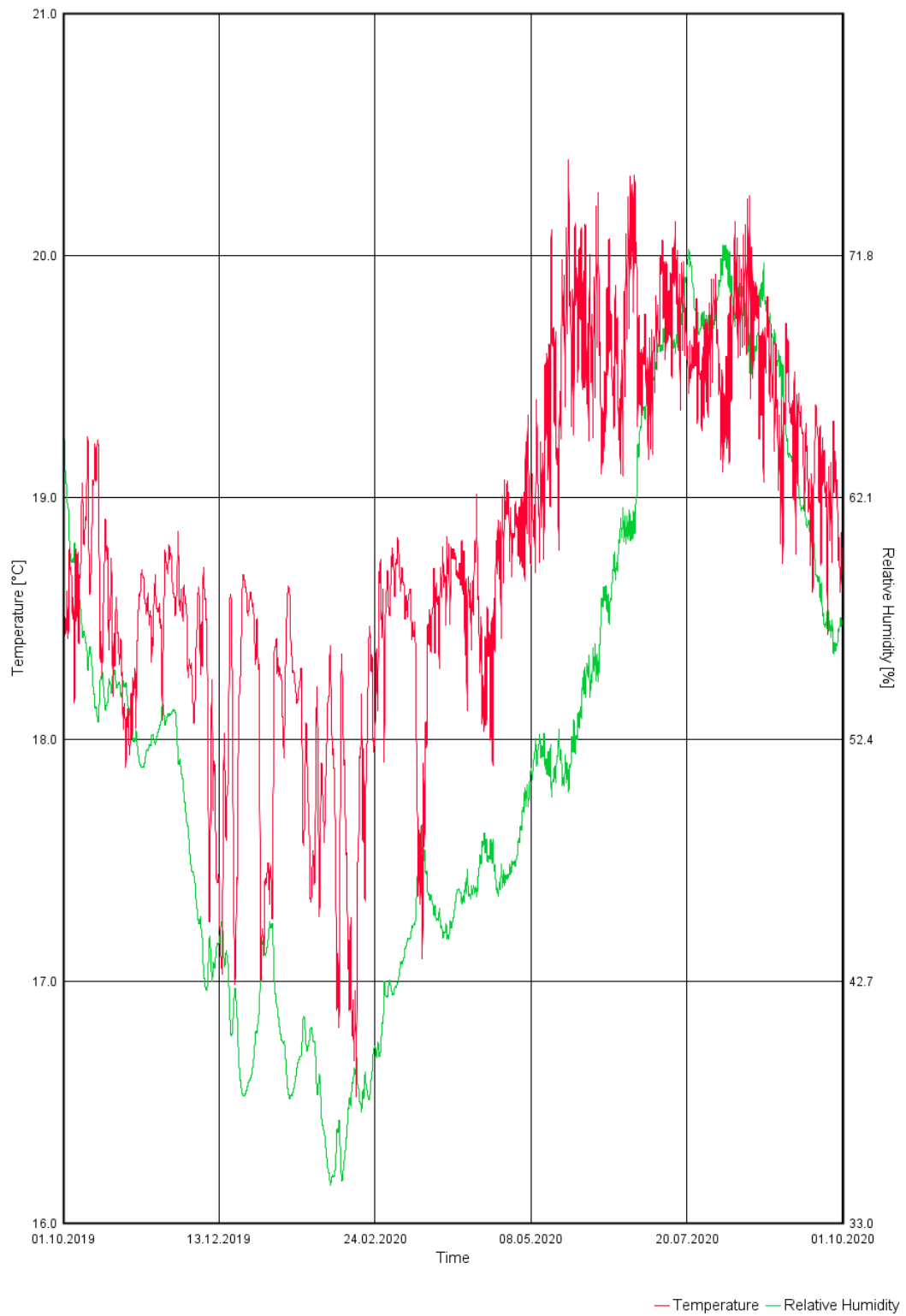
Temperature



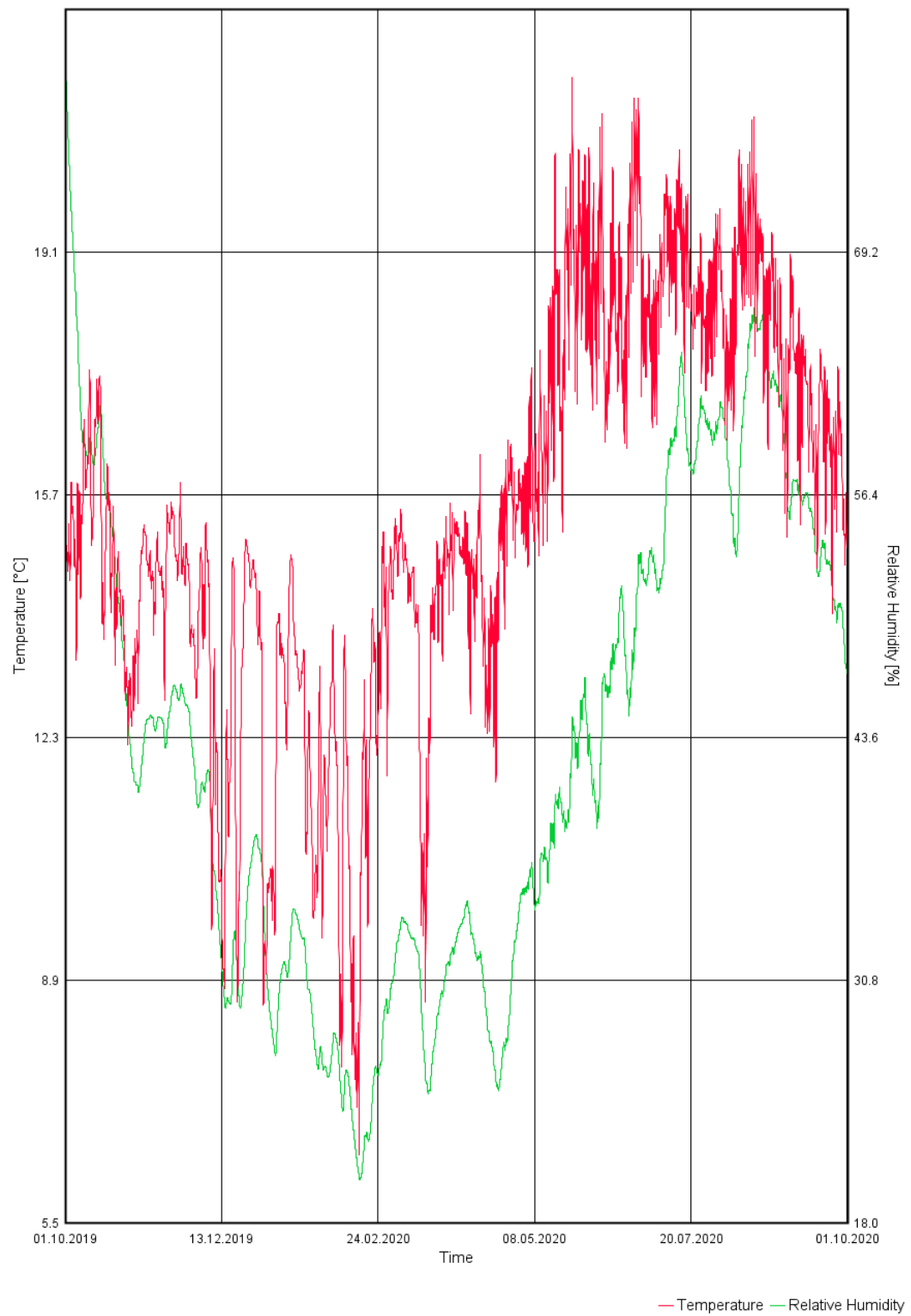
Kuva 1: Sisälaudoituksen ja kipsilevyn rajapinta



**Temperature****Kuva 2: Sisälaudoituksen ja mineraalivillan rajapinta**

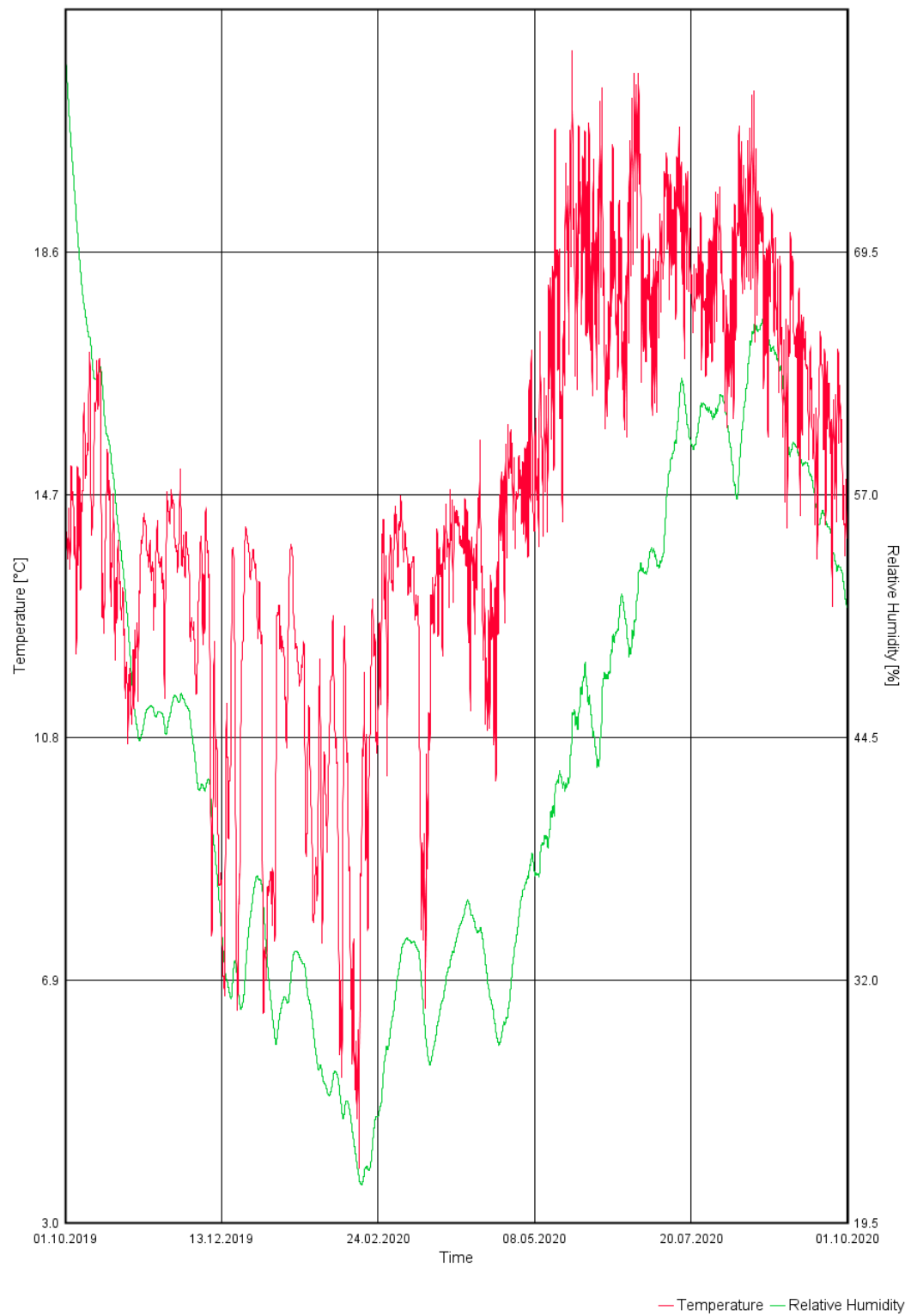
**Temperature****Kuva 3: Seinäpalkin sisäpinta**

### Temperature

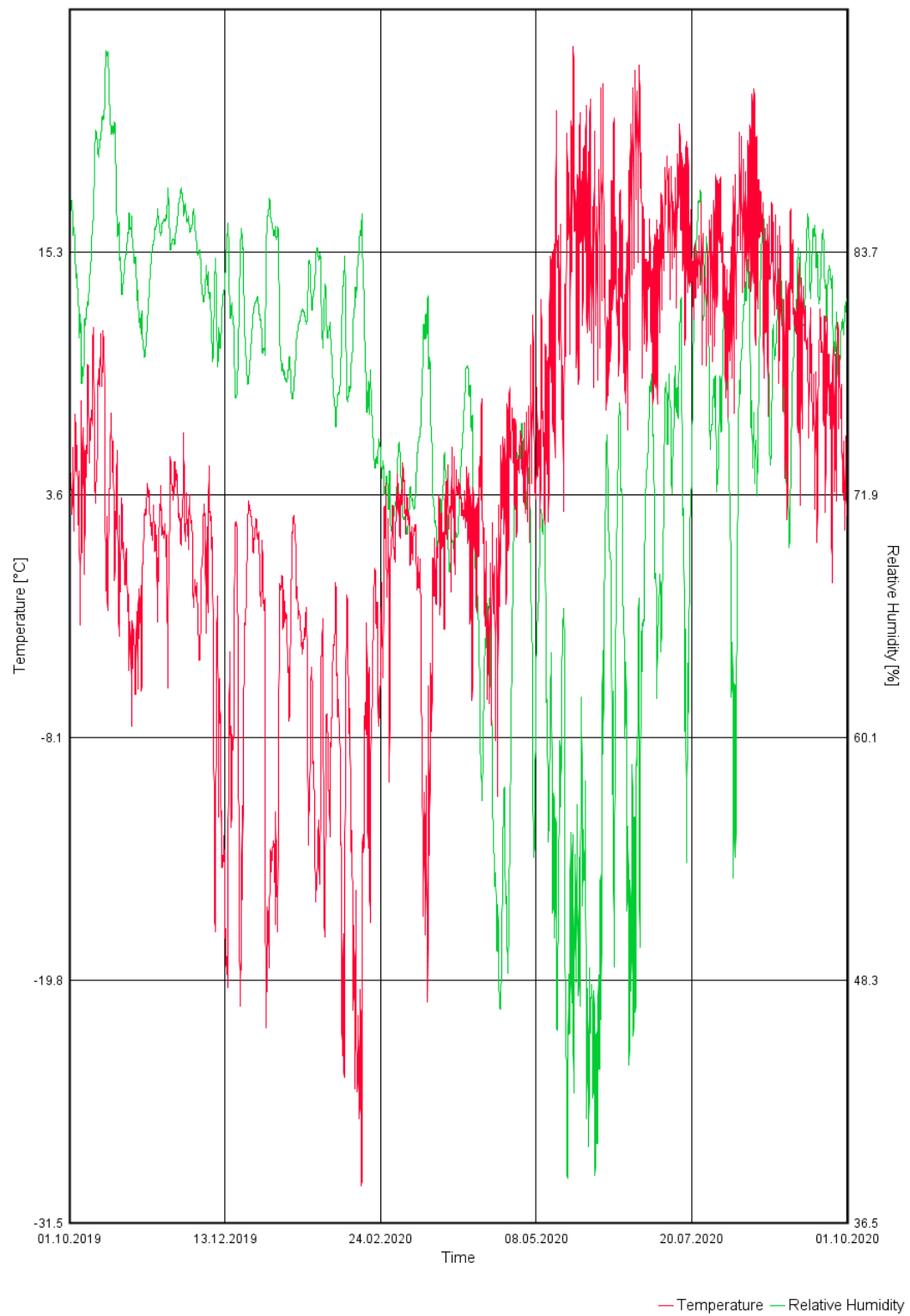


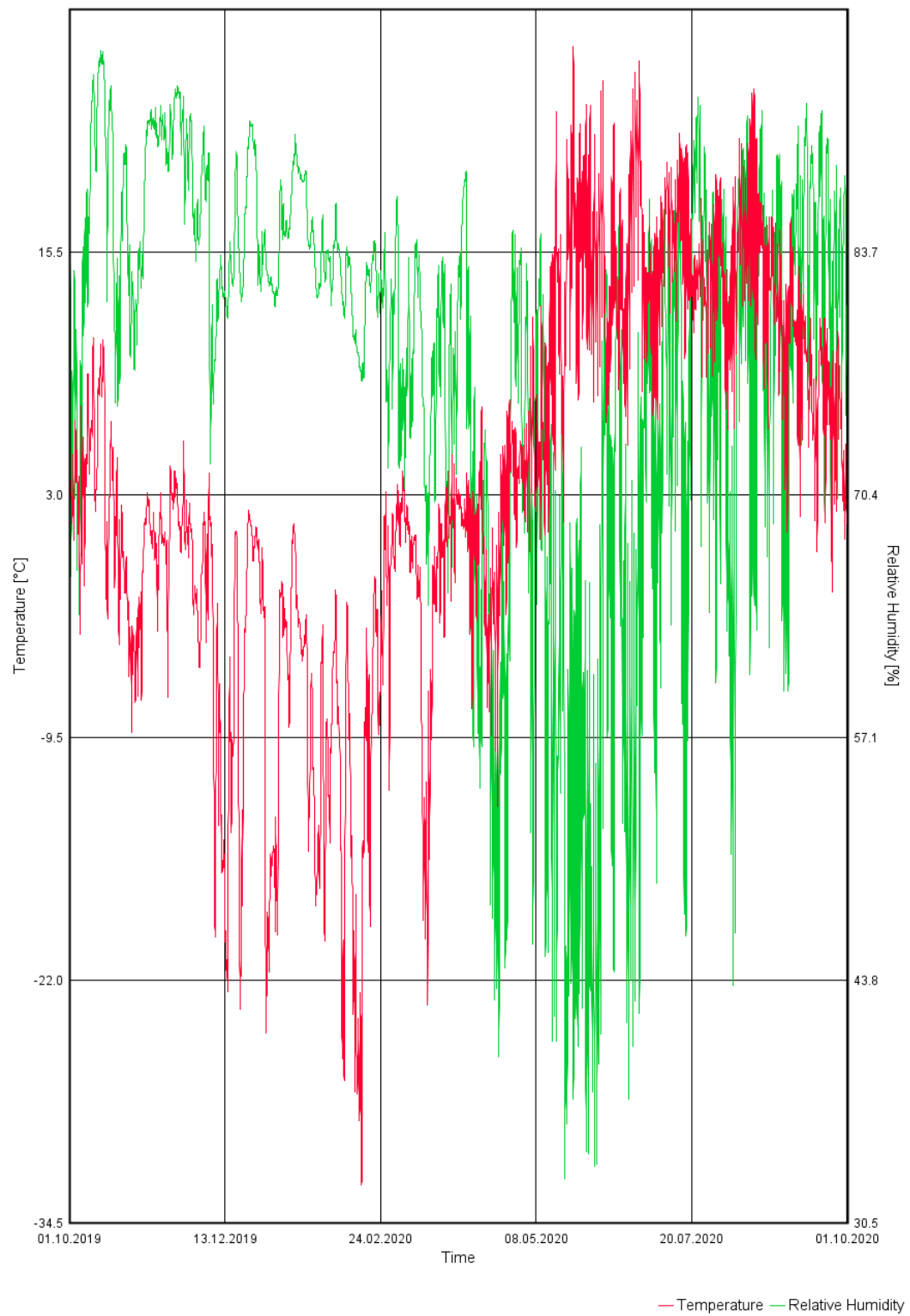
**Kuva 4: Seinäpalkin ulkopinta**

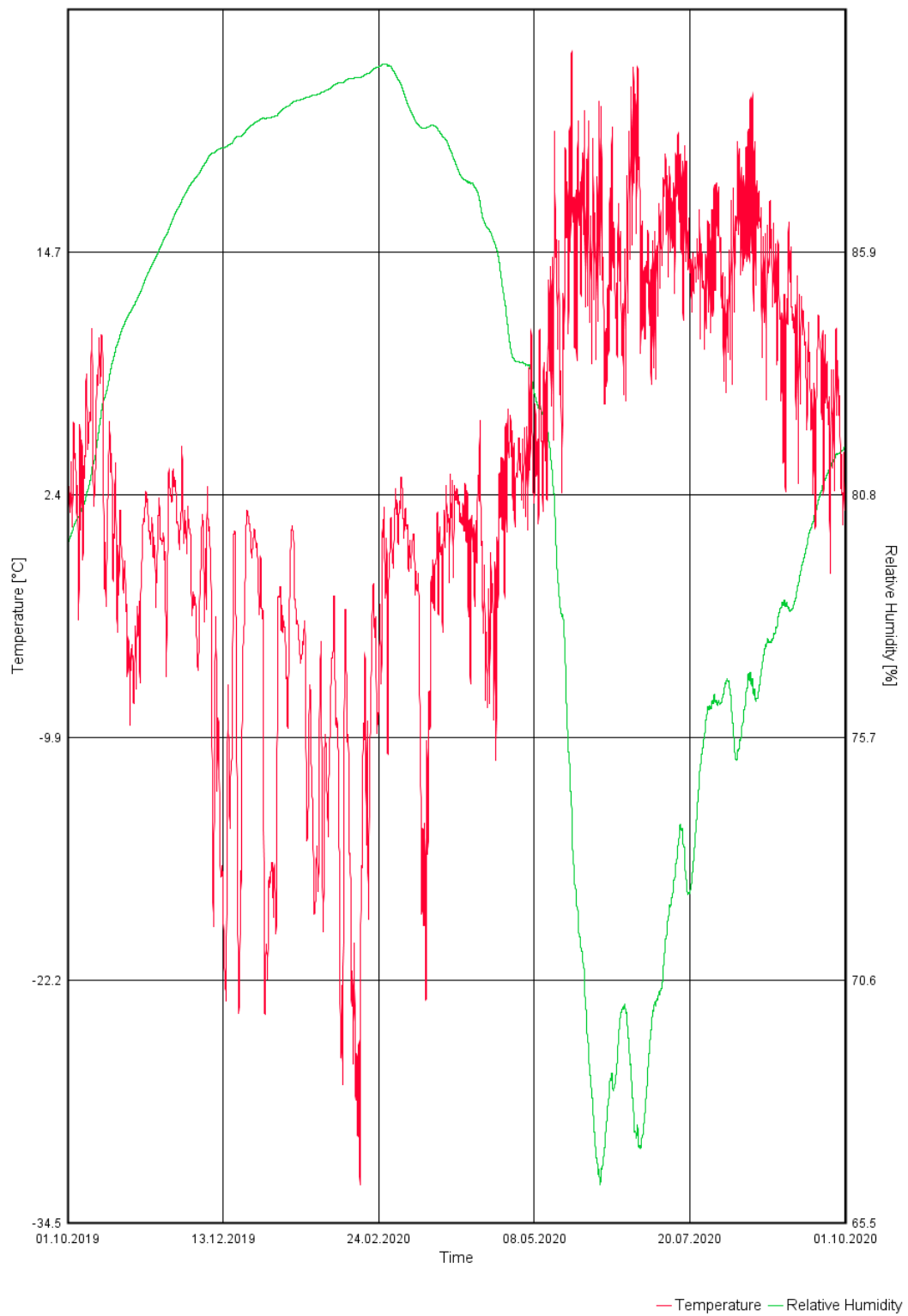
### Temperature

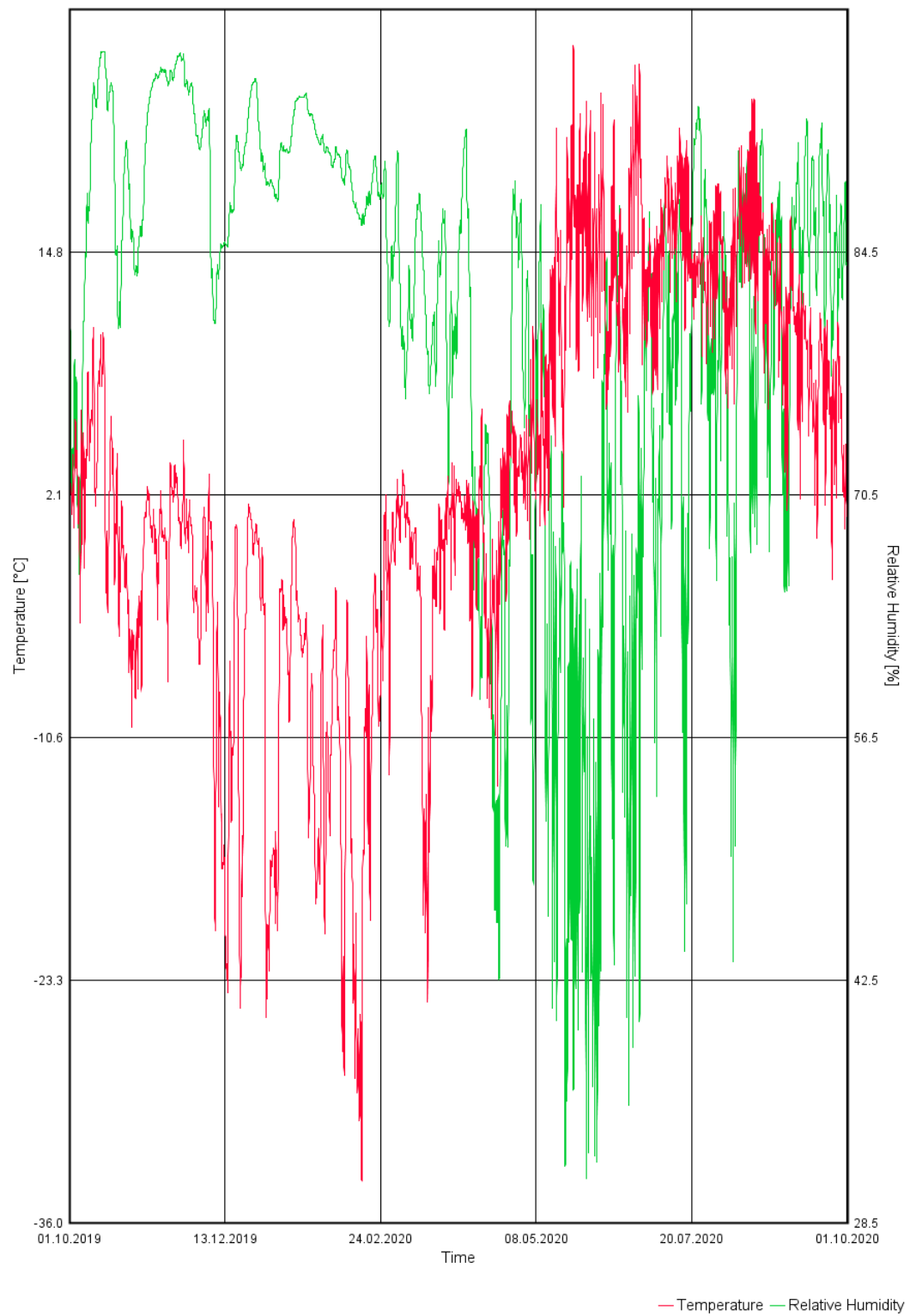


**Kuva 5: Seinäpalkin yläpinta**

**Temperature****Kuva 6: Tuulensuojalevyn ja mineraalivillan rajapinta**

**Temperature****Kuva 7: Tuulensuojalevyn ulkopinta**

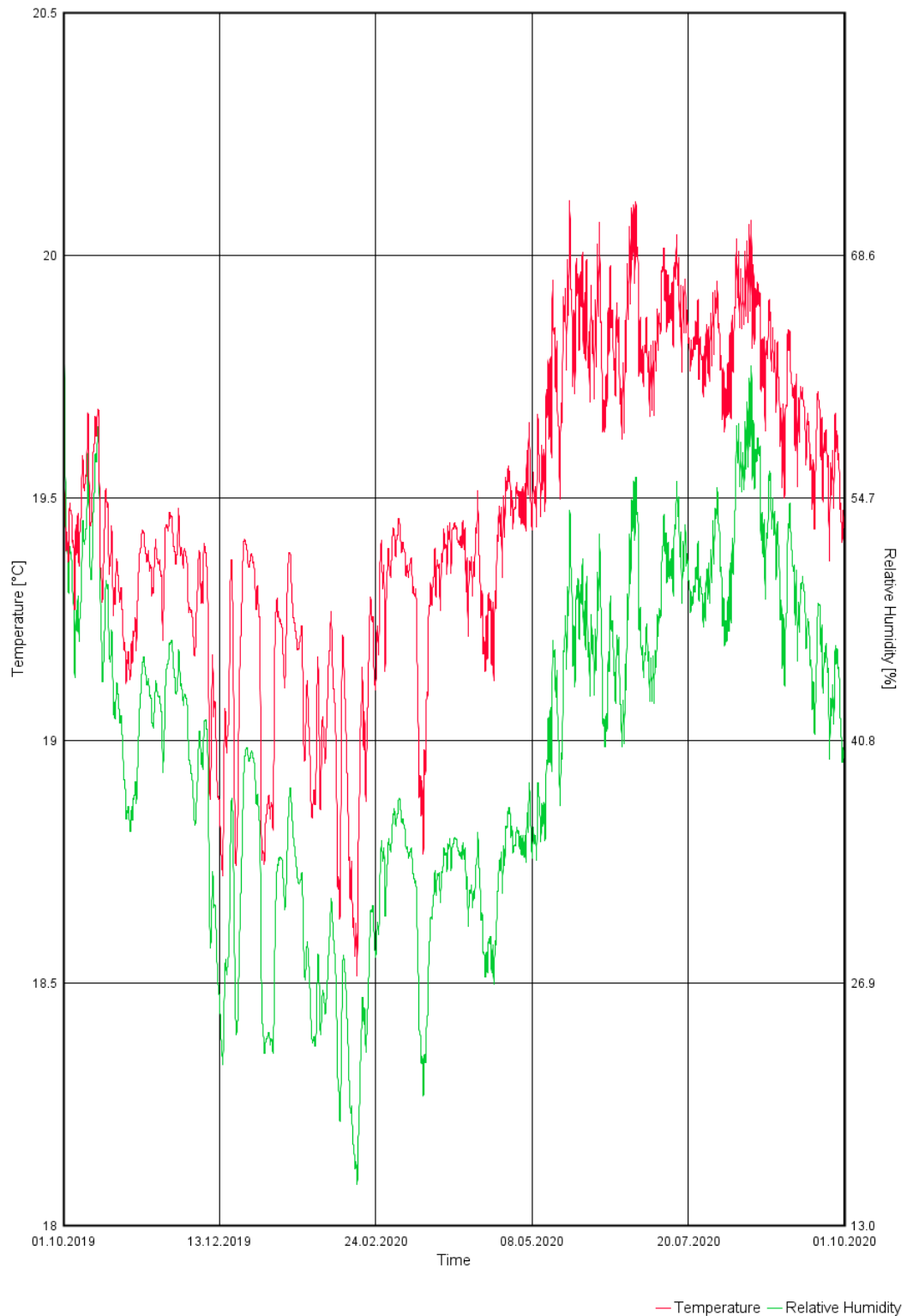
**Temperature****Kuva 8: Yläjuoksun alapinta**

**Temperature****Kuva 9: Yläjuoksun yläpinta**



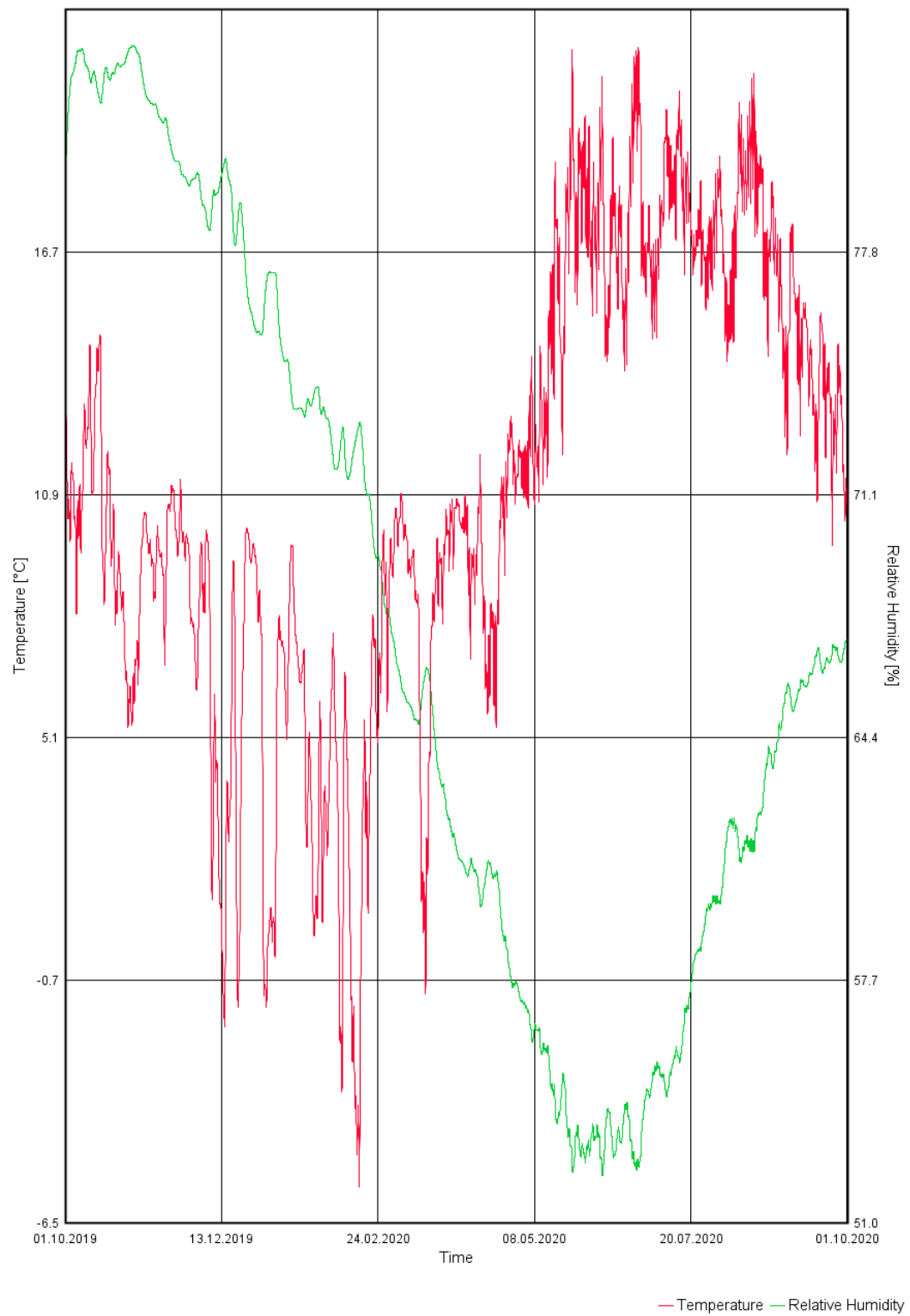
## 1.2 Höyrynsululla varustettu lisäeristetty rakenne

### Temperature



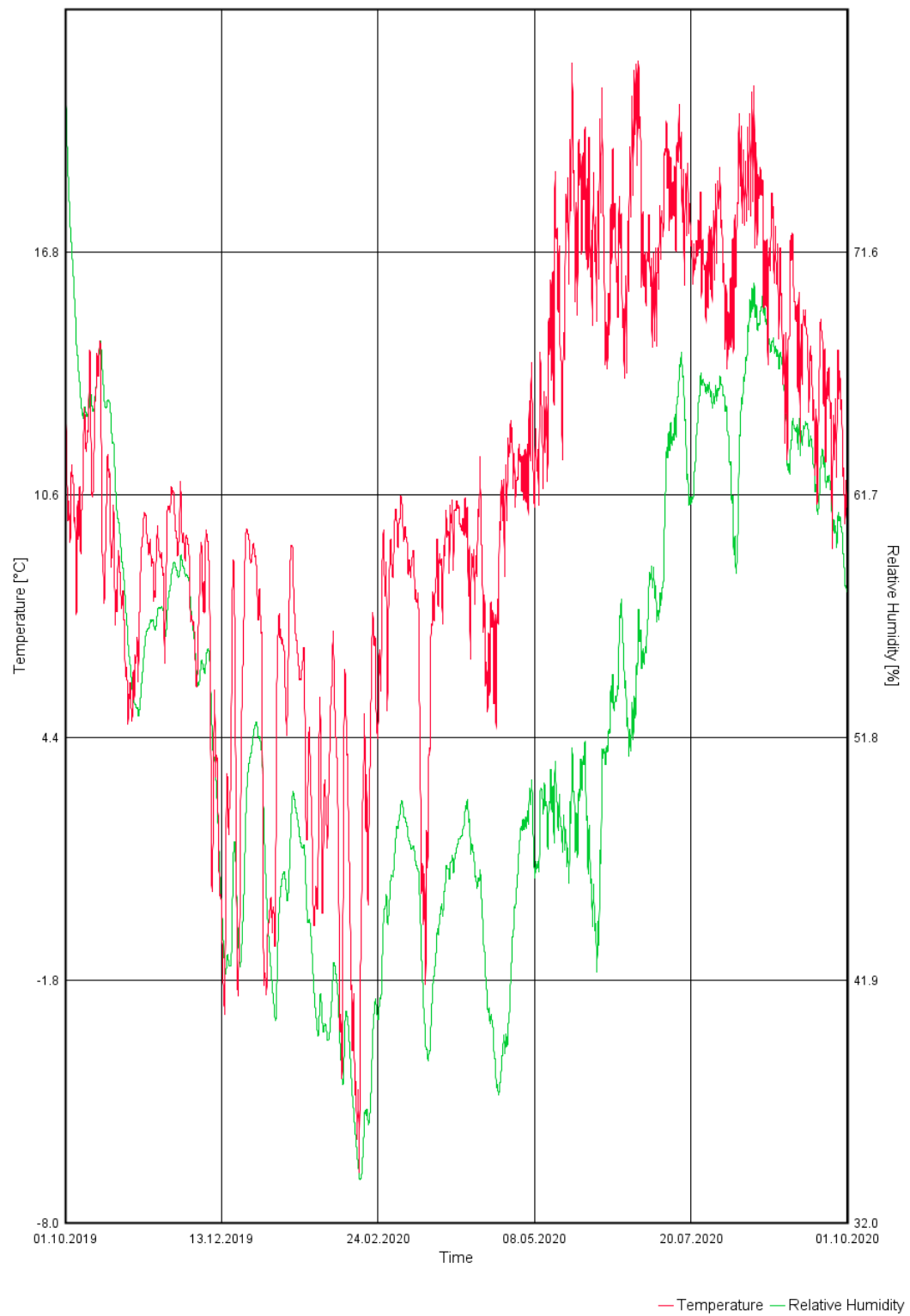
**Kuva 10: Kipsilevyn ja uuden mineraalivillan rajapinta**

### Temperature



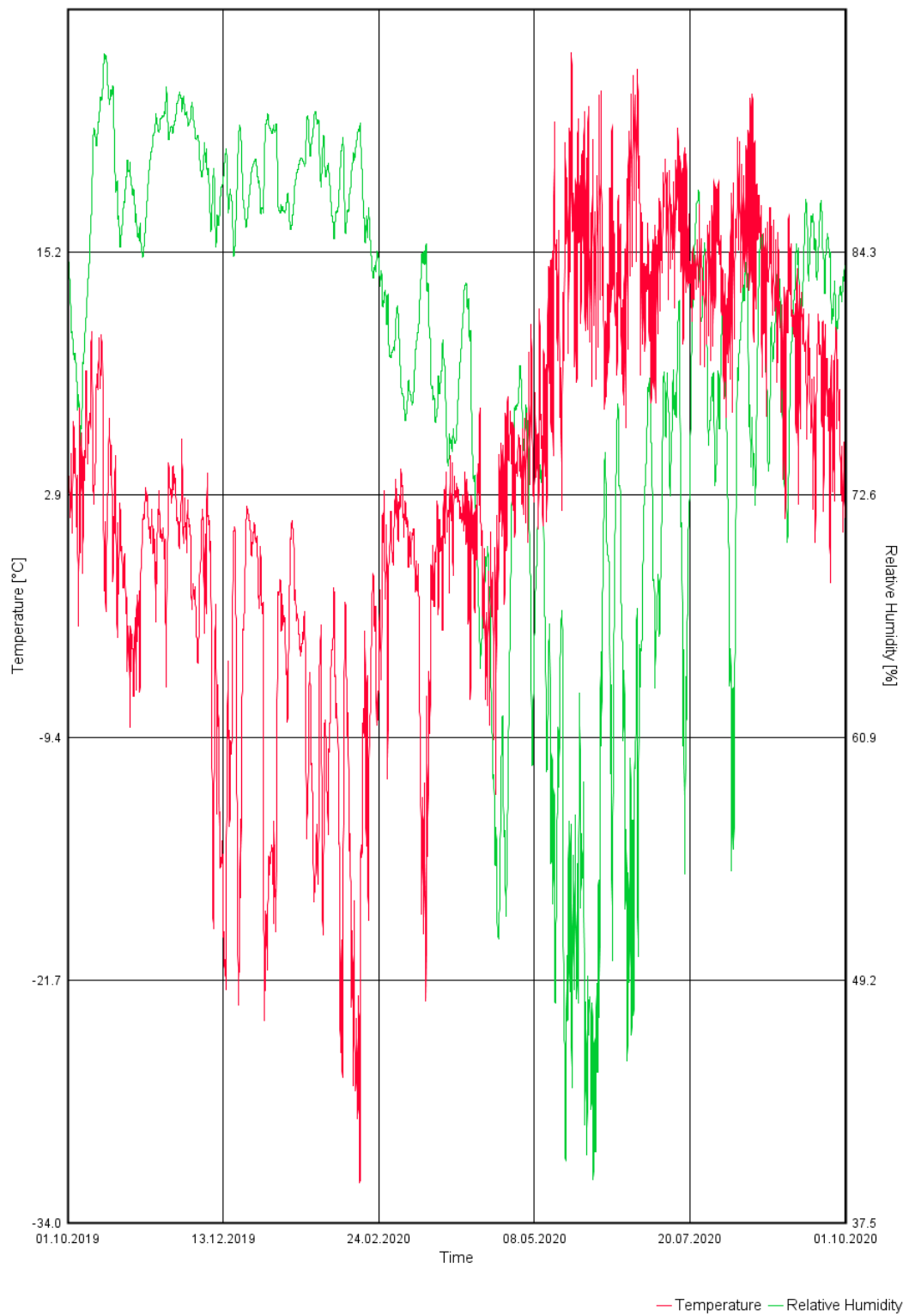
**Kuva 11: Laudoituksen ja uuden mineraalivillan rajapinta**

### Temperature

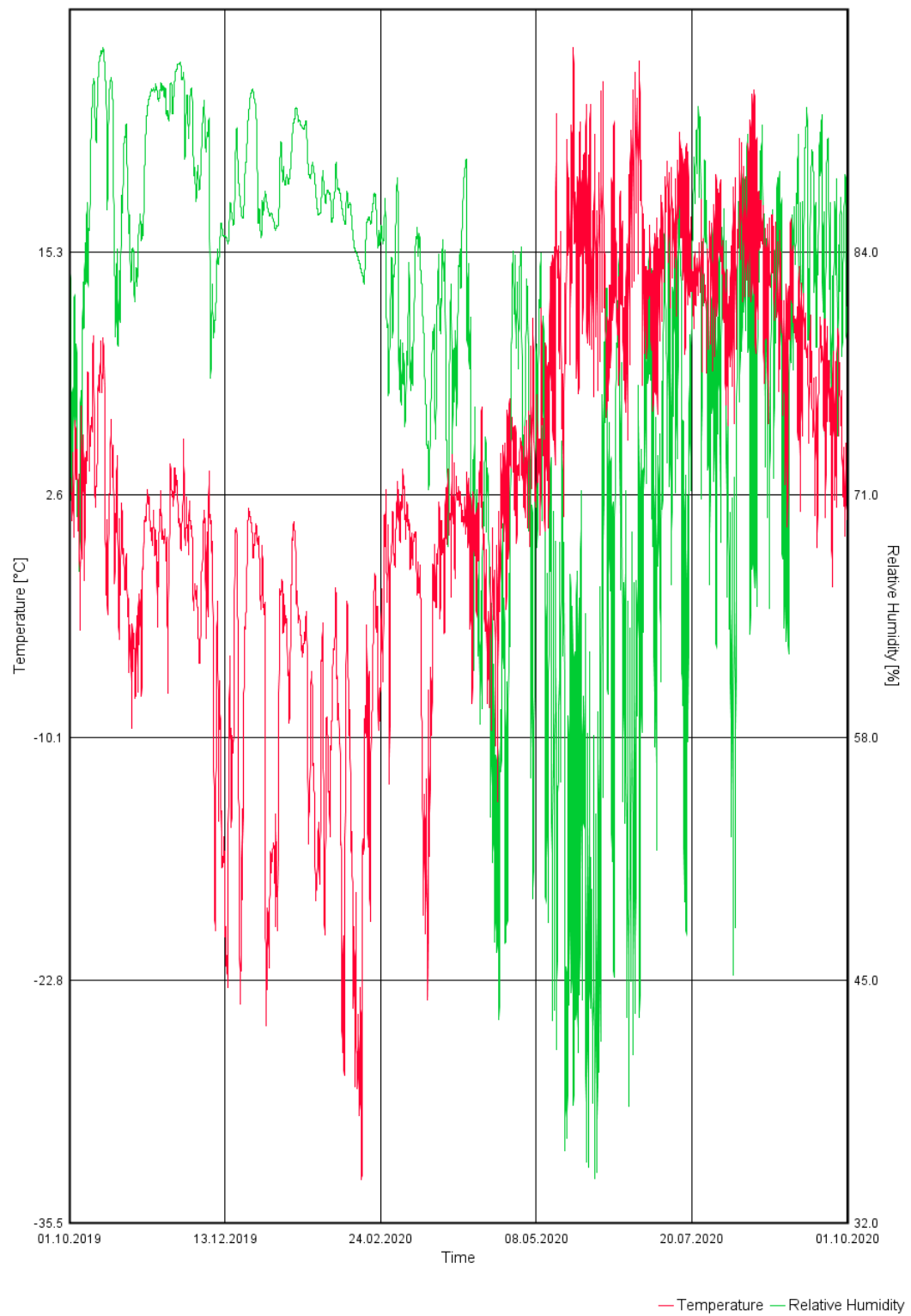


**Kuva 12: Laudoituksen ja vanhan mineraalivillan rajapinta**

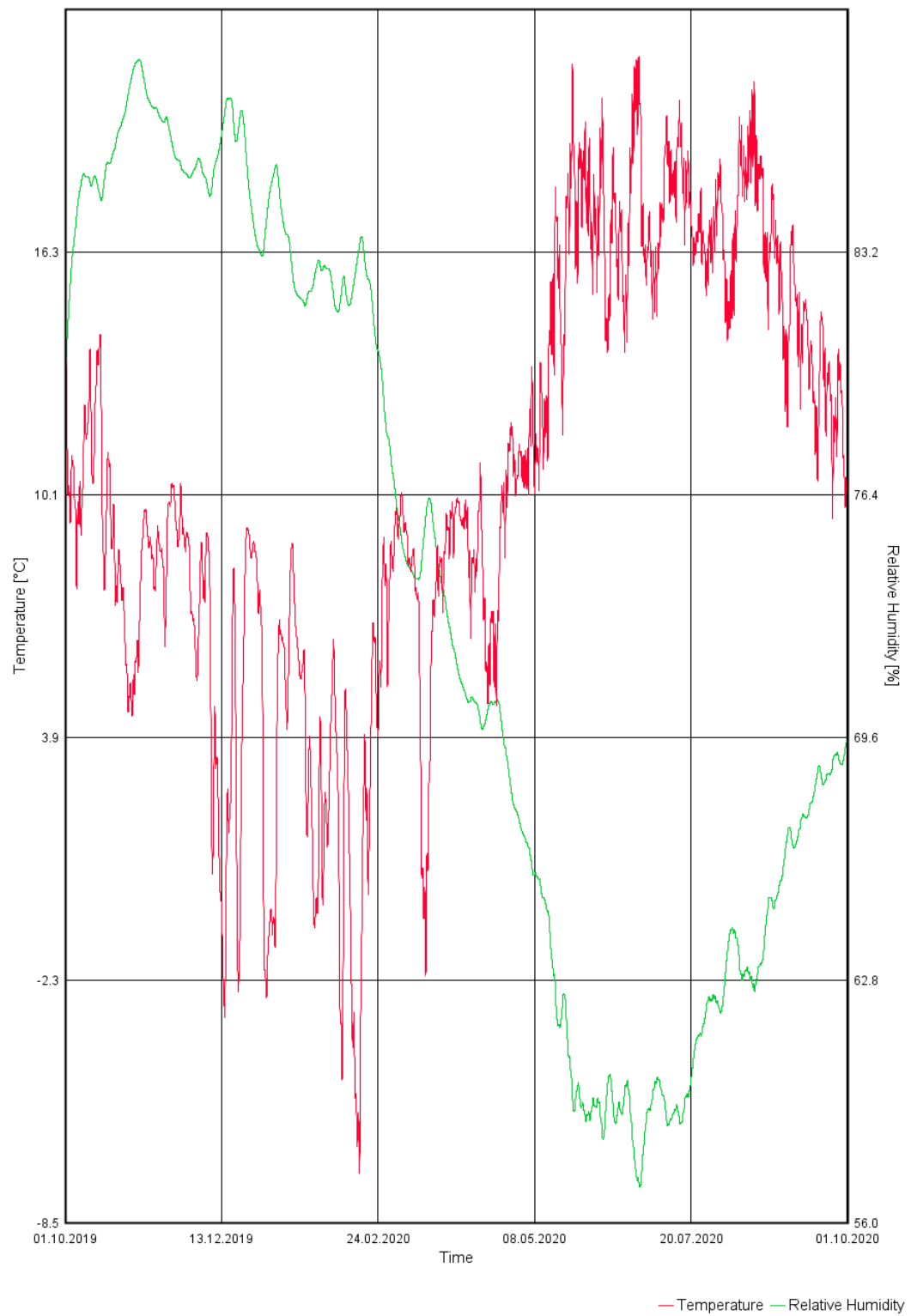
### Temperature



**Kuva 13: Tuulensuojalevyn ja vanhan mineraalivillan rajapinta**

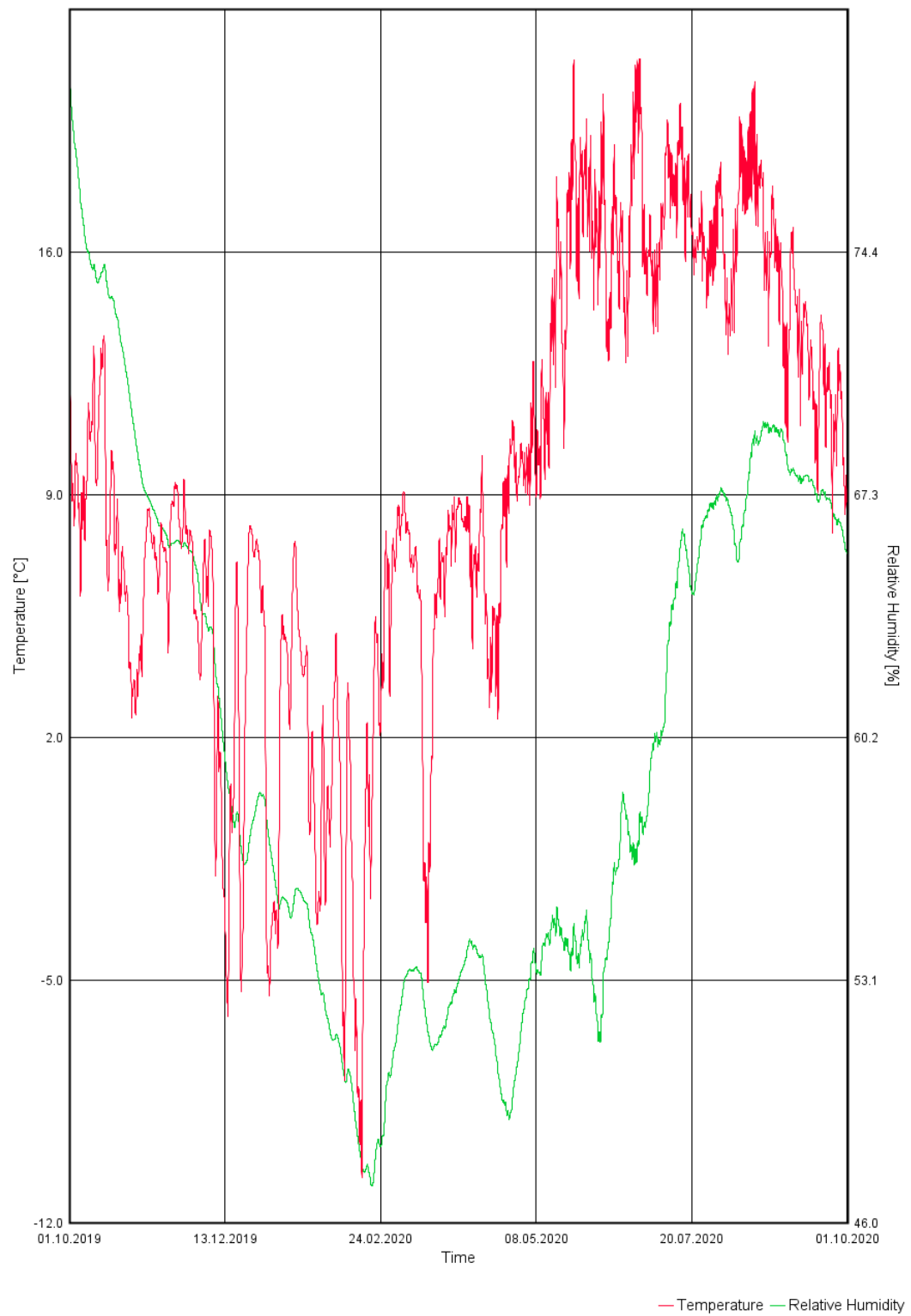
**Temperature****Kuva 14: Tuulensuojalevyn ulkopinta**

### Temperature

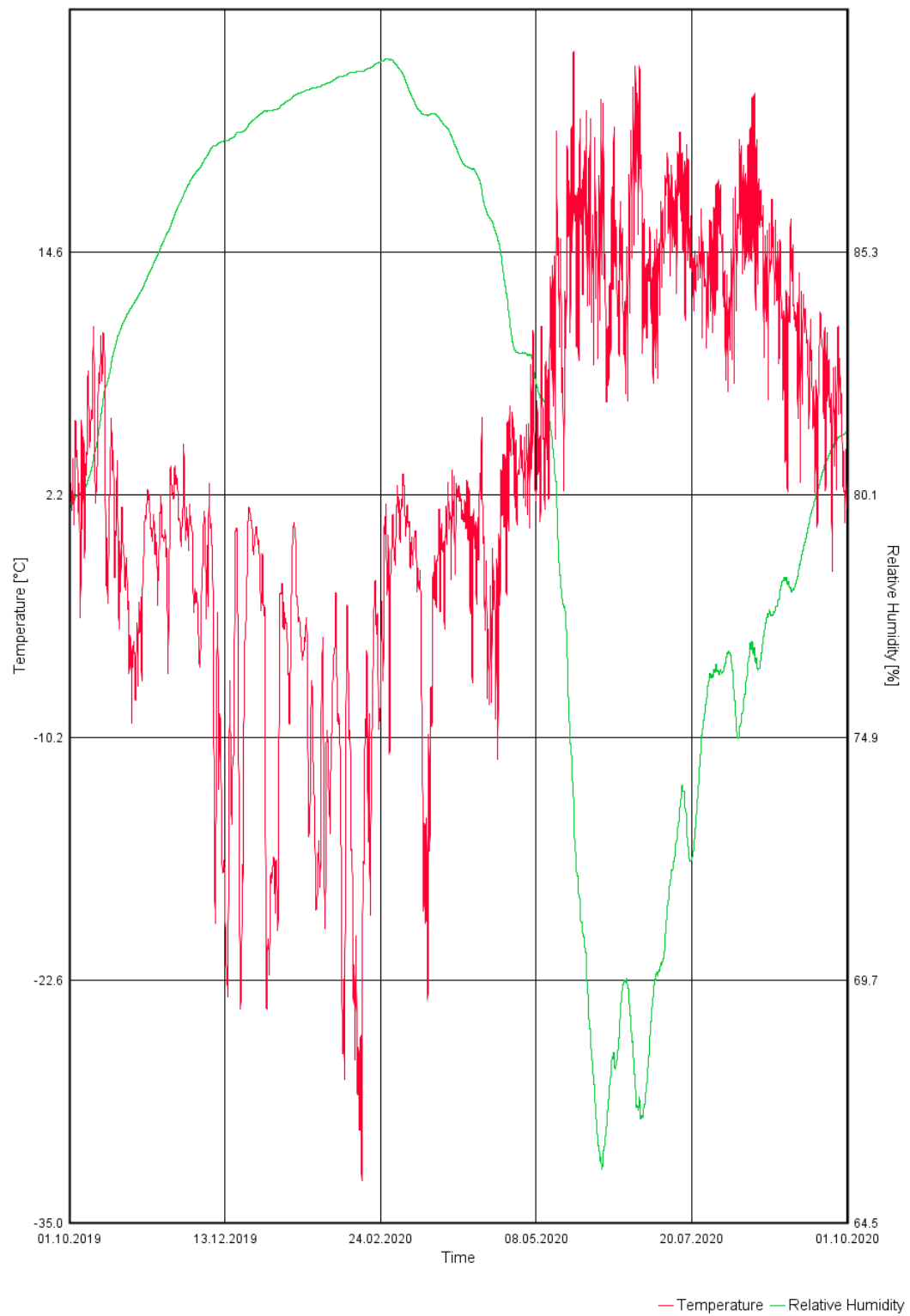


**Kuva 15: Seinäpalkin ja uuden mineraalivillan rajapinta**

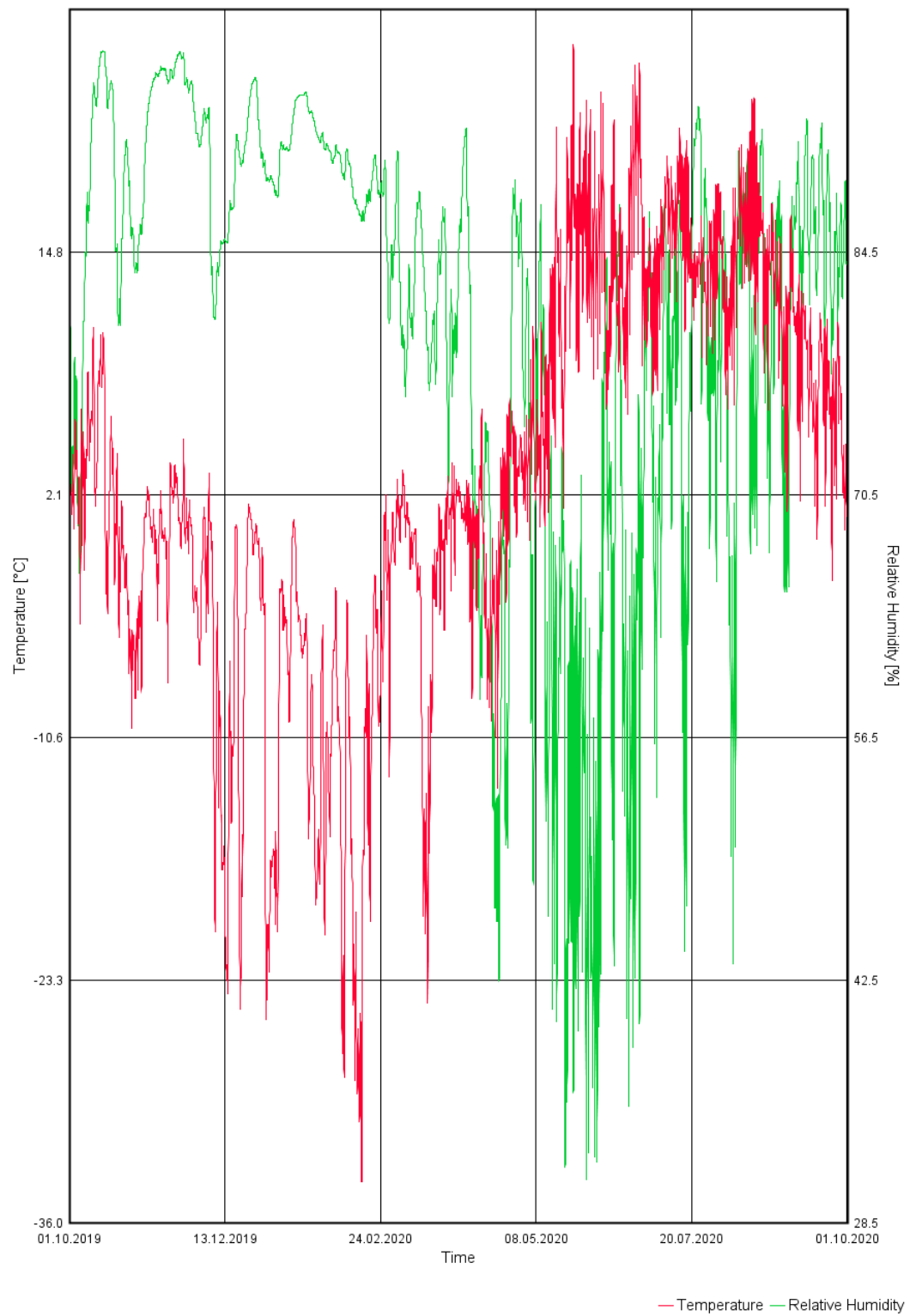
### Temperature



**Kuva 16: Seinäpalkin yläpinta**

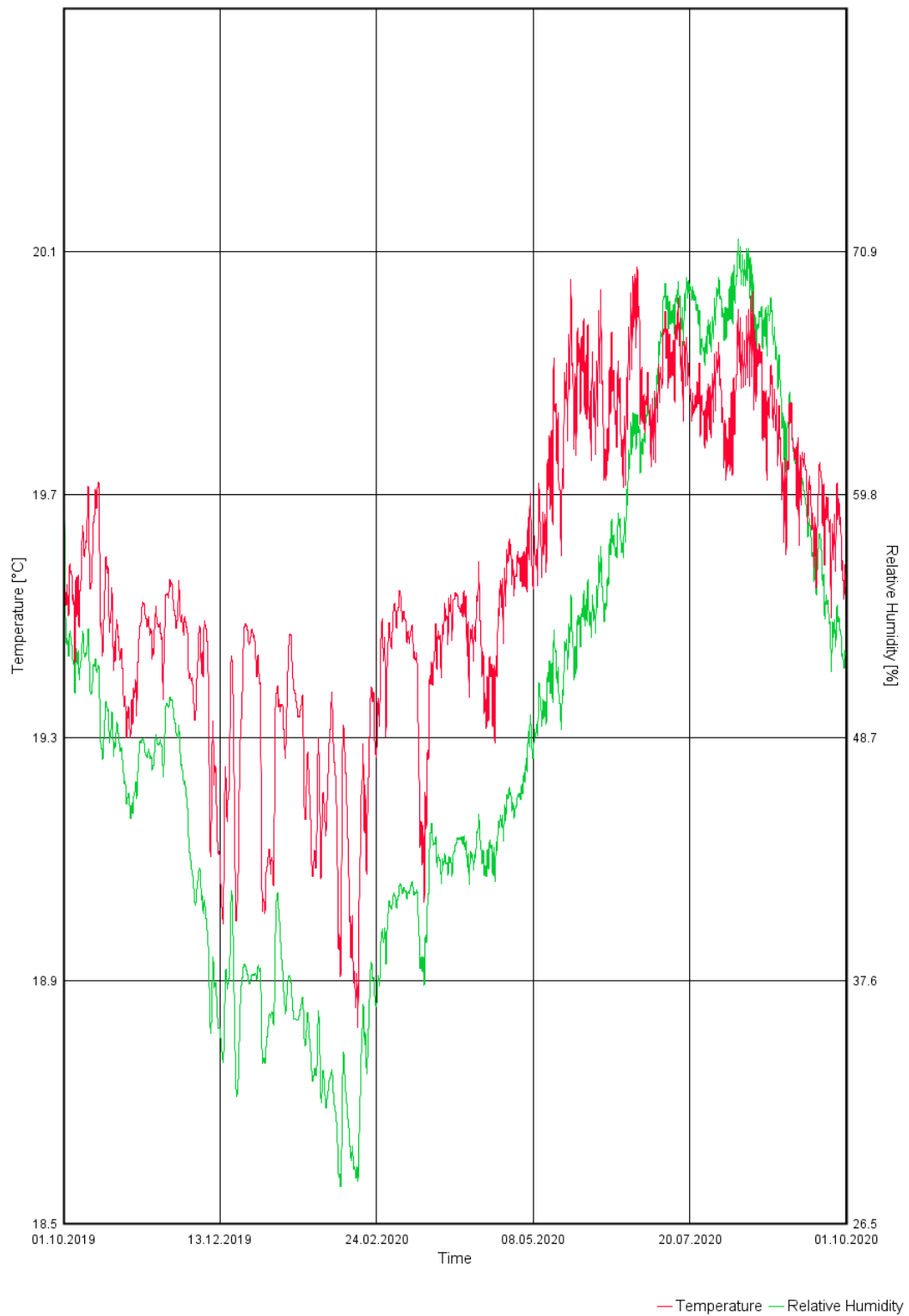
**Temperature****Kuva 17: Yläjuoksun alapinta**



**Temperature****Kuva 18: Yläjuoksun yläpinta**

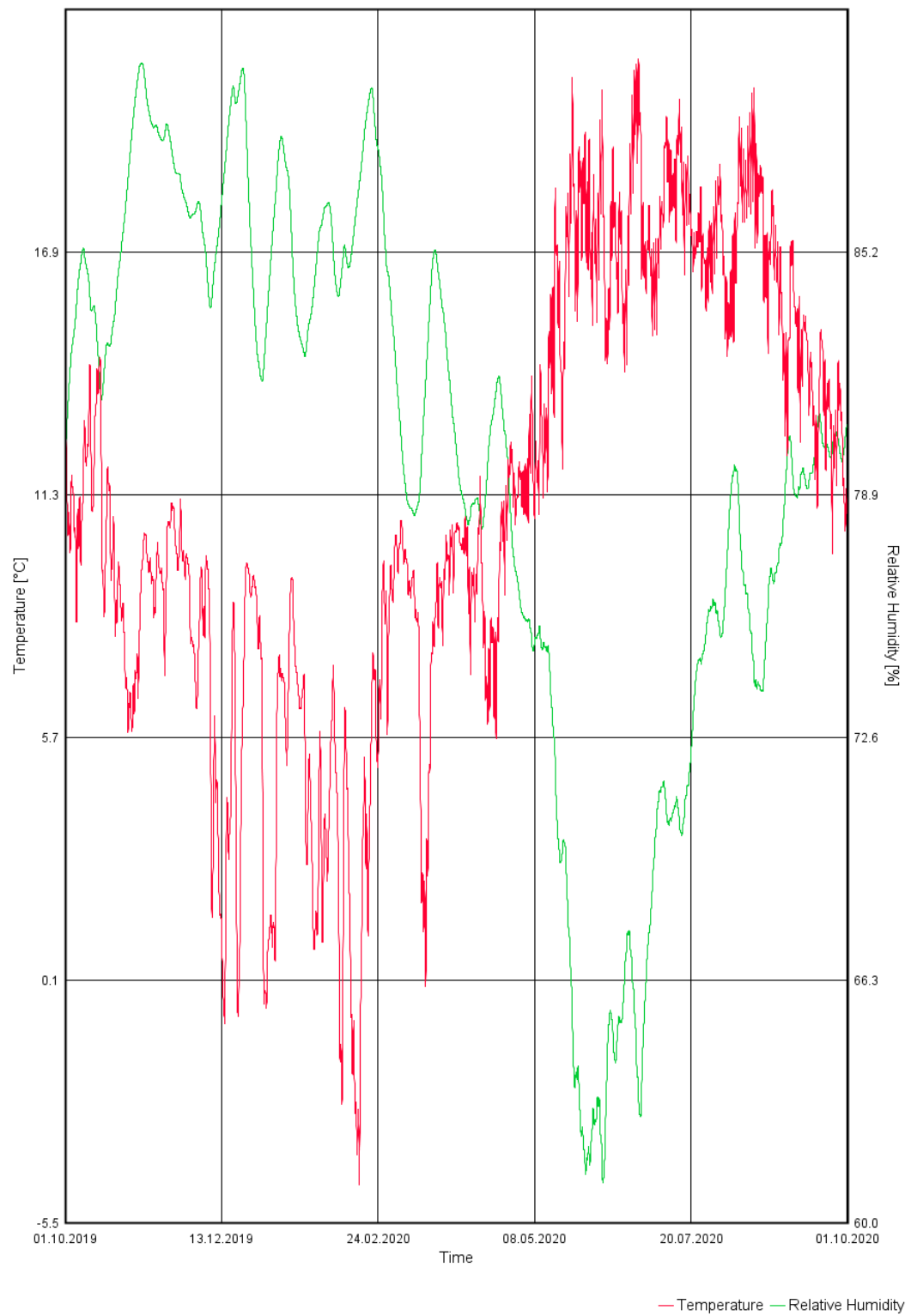
### 1.3 Ilman höyrinsulkua lisäeristetty rakenne

Temperature



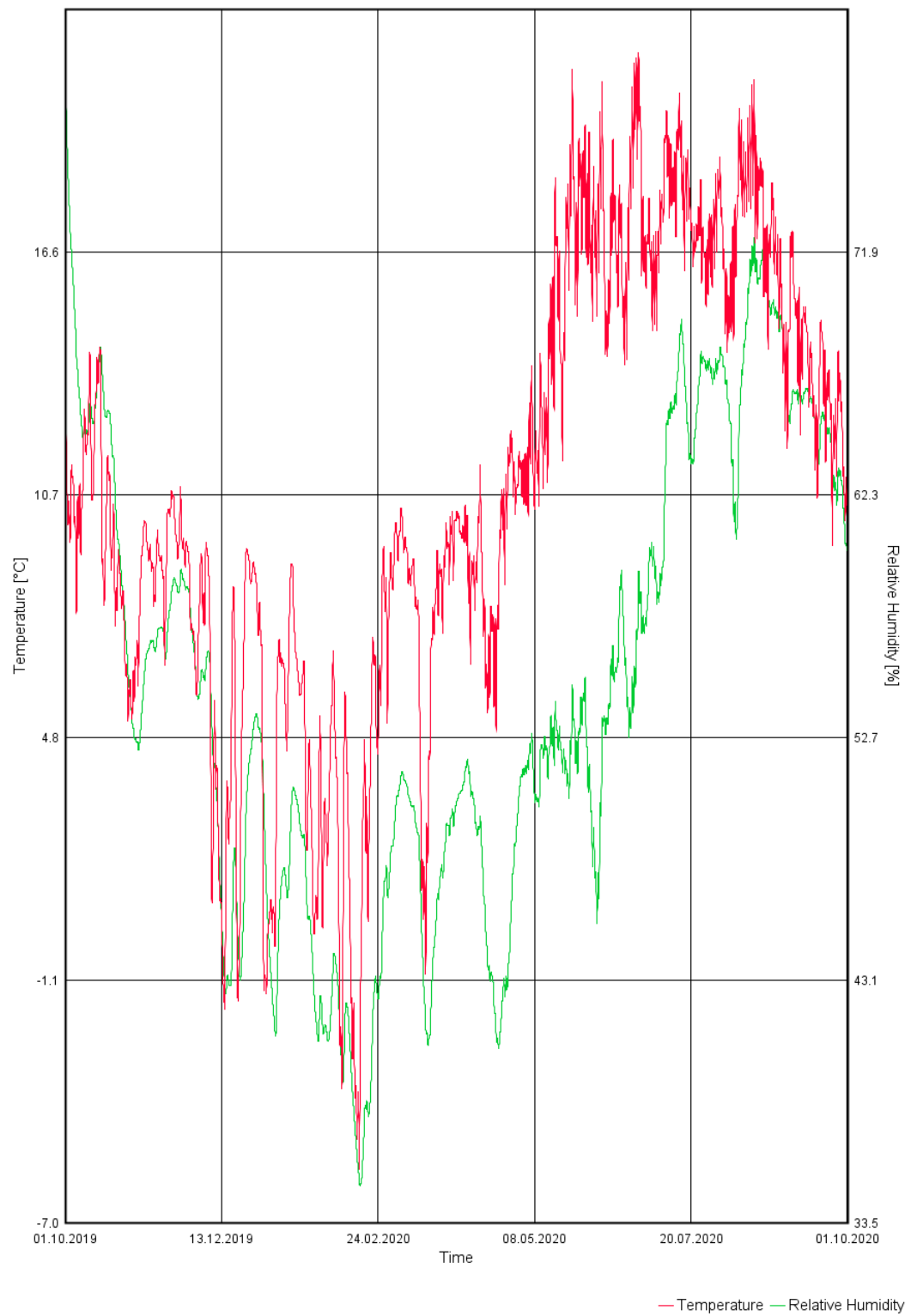
**Kuva 19: Kipsilevyn ja uuden mineraalivillan rajapinta**

### Temperature

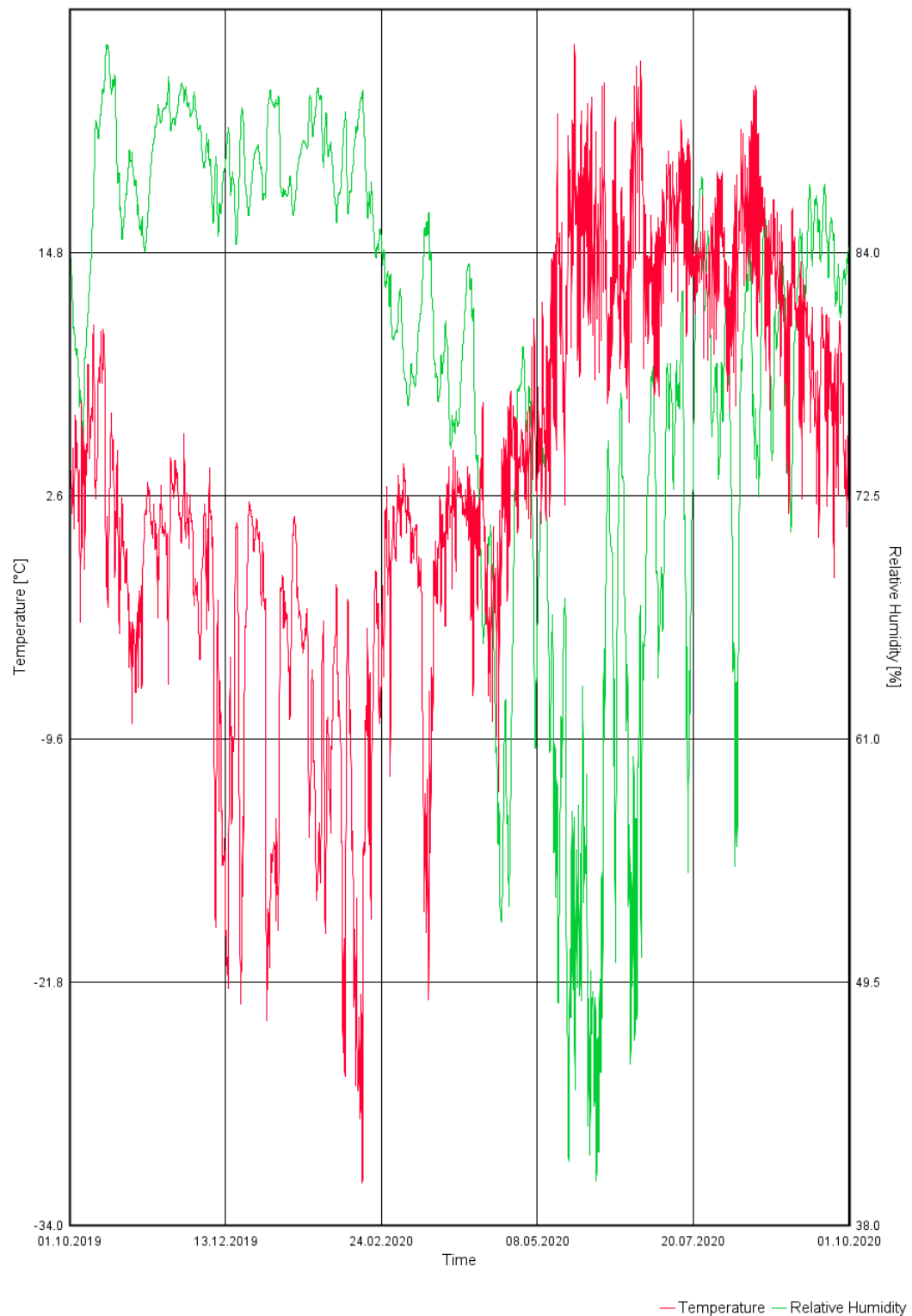


**Kuva 20: Laudoituksen ja uuden mineraalivillan rajapinta**

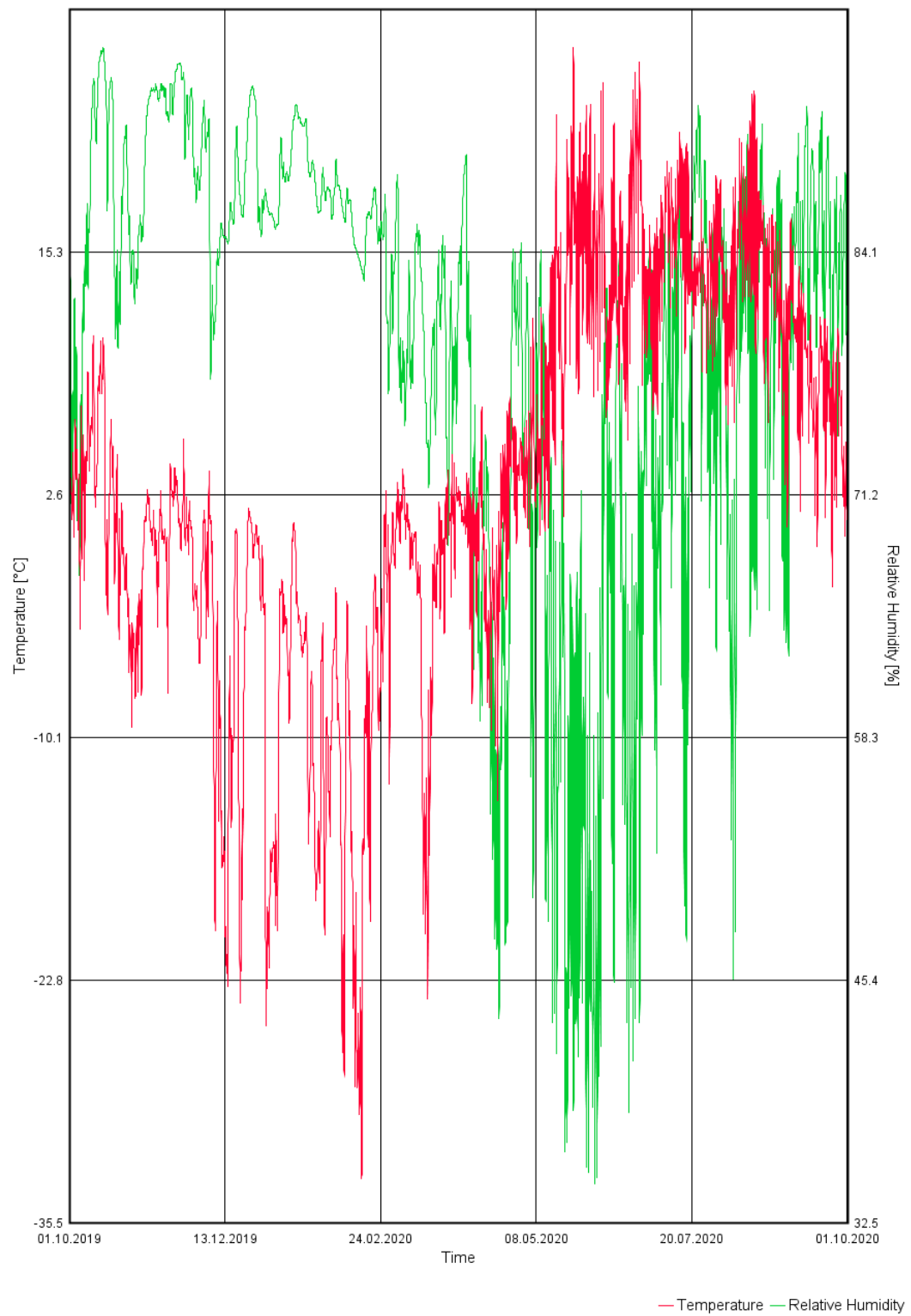
### Temperature



**Kuva 21: Laudoituksen ja vanhan mineraalivillan rajapinta**

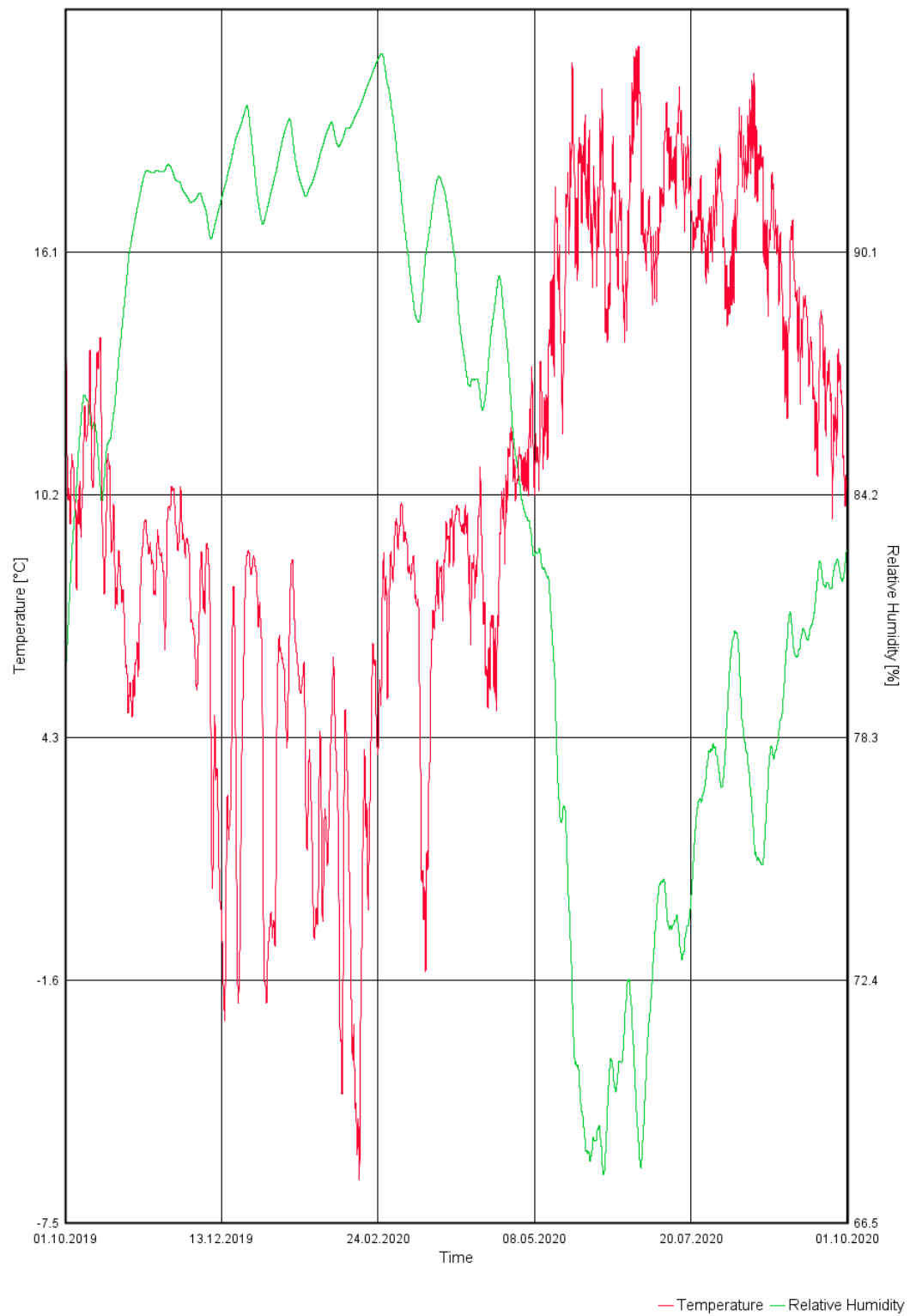
**Temperature****Kuva 22: Tuulensuojalevyn ja vanhan mineraalivillan rajapinta**

# Temperature



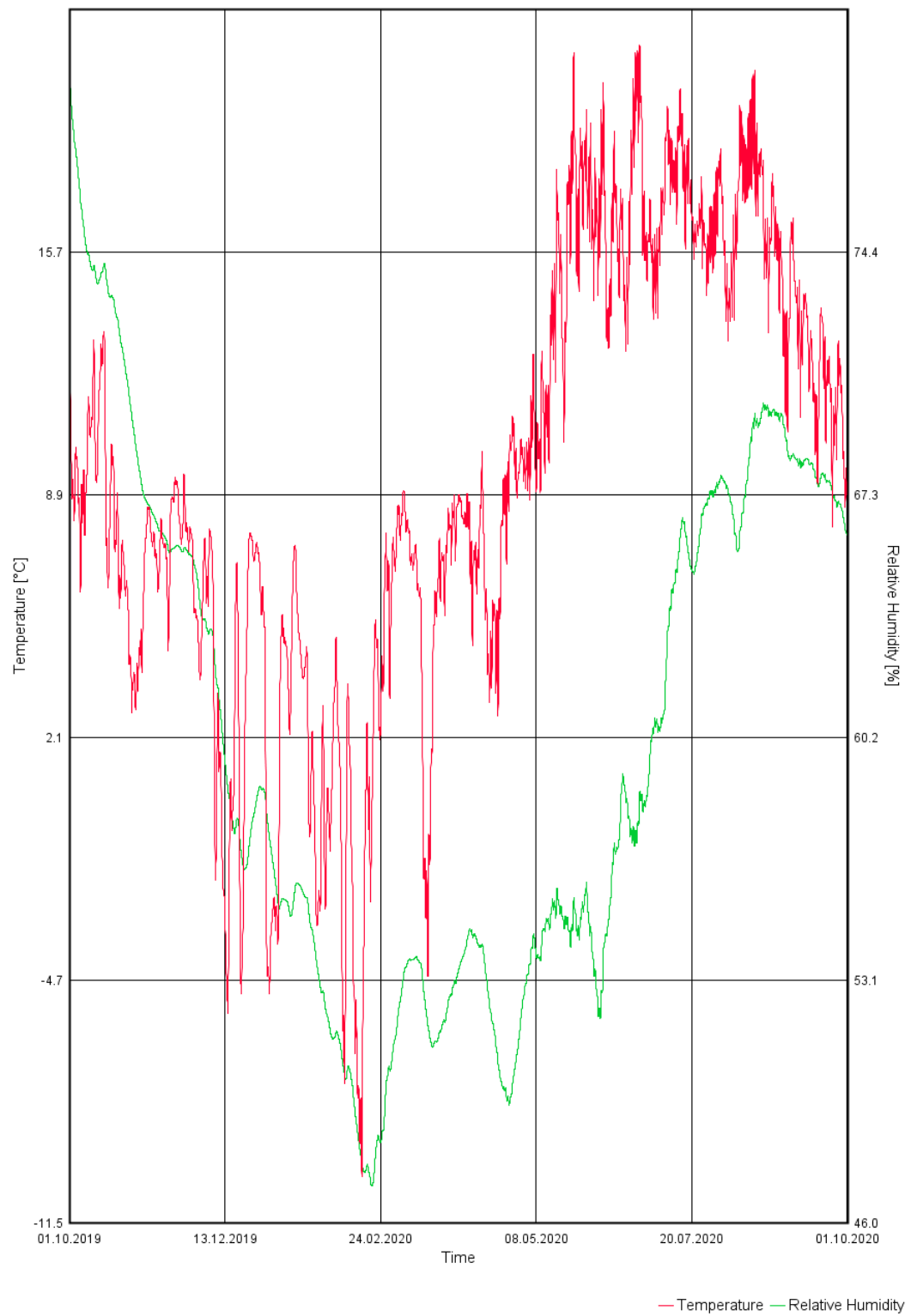
**Kuva 23: Tuulensuojalevyn ulkopinta**

### Temperature



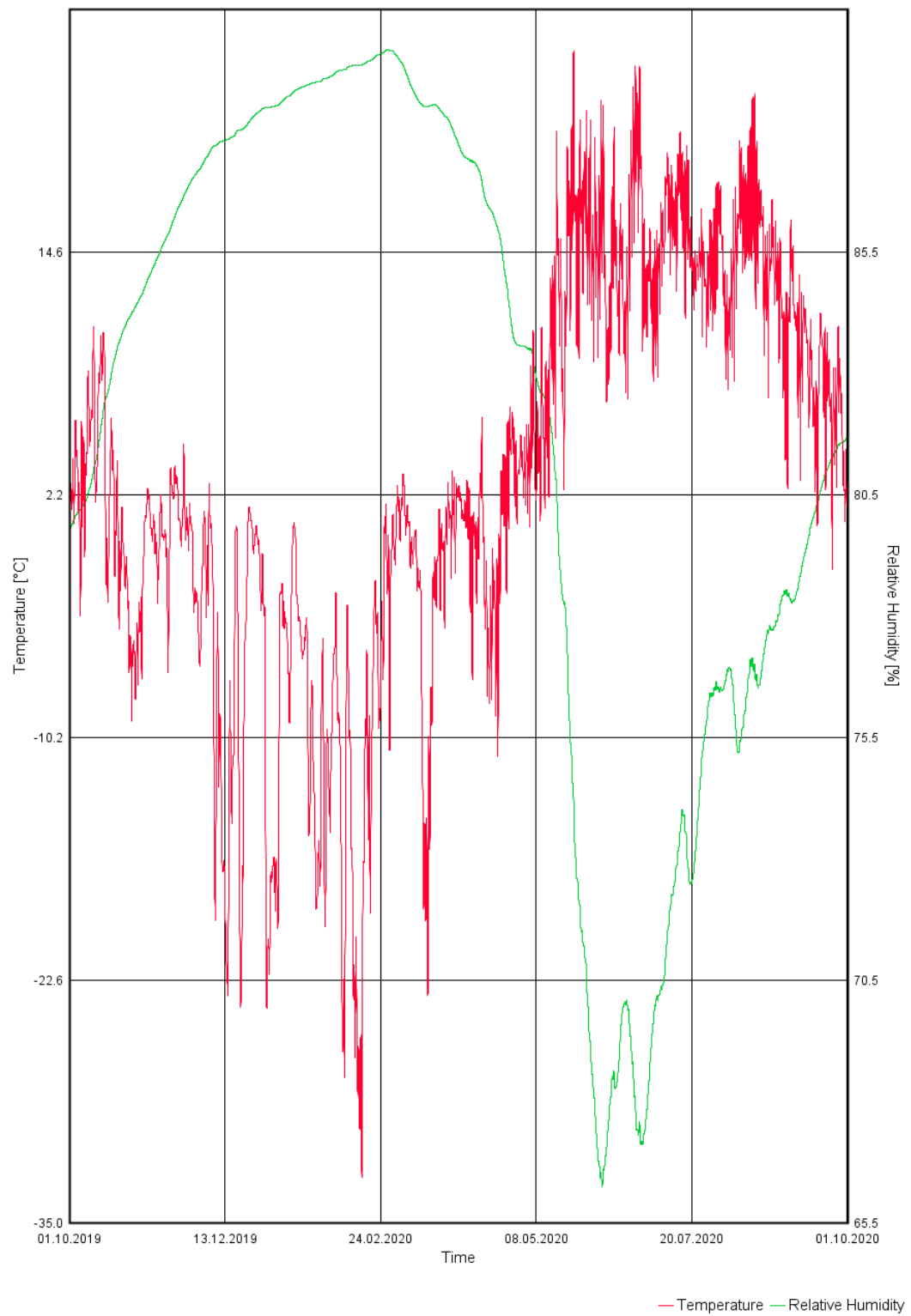
**Kuva 24: Seinäpalkin ja uuden mineraalivillan rajapinta**

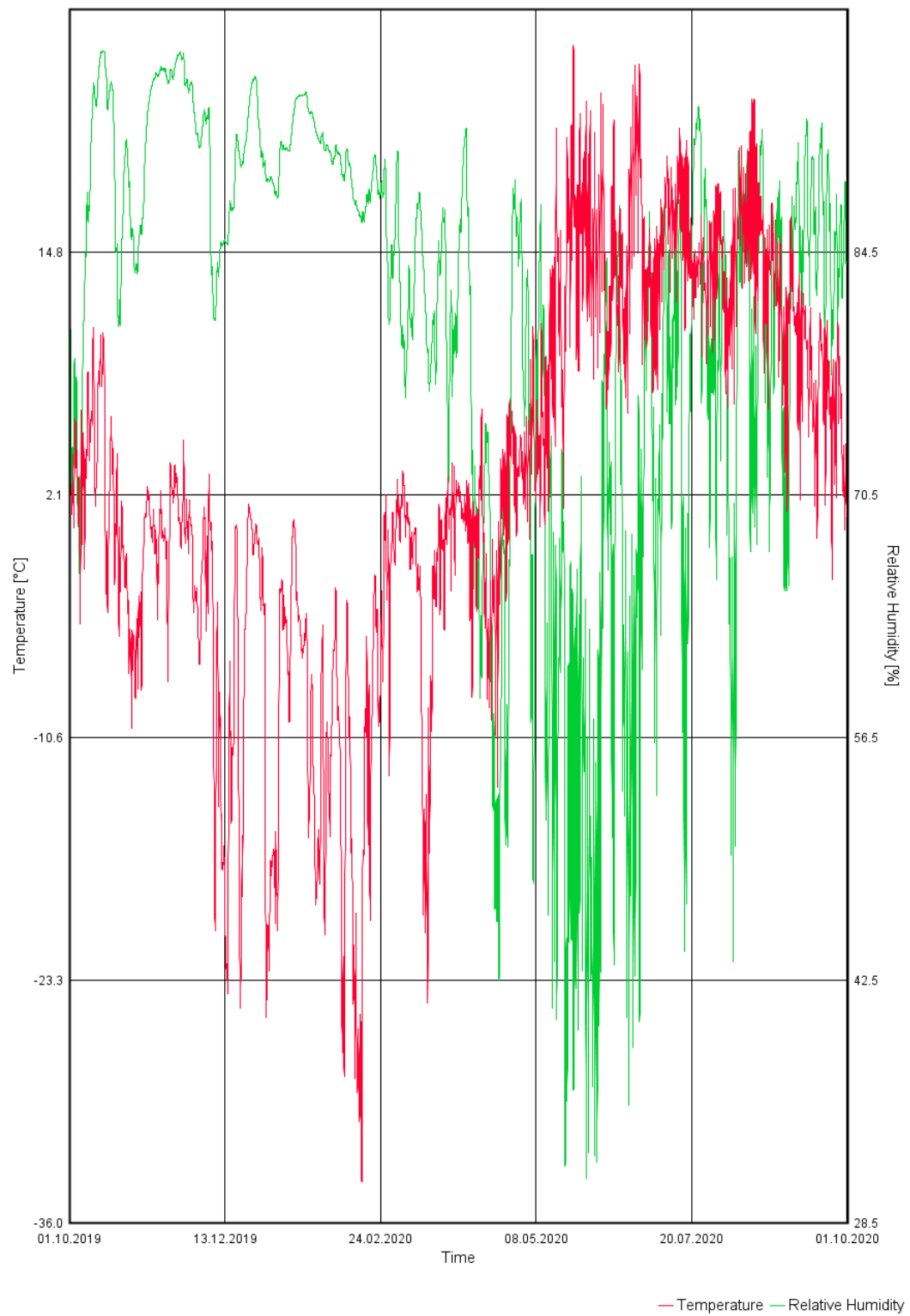
### Temperature



**Kuva 25: Seinäpalkin yläpinta**



**Temperature****Kuva 26: Yläjuoksun alapinta**

**Temperature****Kuva 27: Yläjuoksun yläpinta**